

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

3.2020

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2020, Issue 3, Volume 285

Хмельницький

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

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

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2020, № 3(285)

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

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aUP9OYAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
РИНЦ	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37650
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221

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

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

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

<i>Технічний редактор</i>	Кравчик Ю.В., к.е.н.
<i>Редактор-коректор</i>	Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 10 від 28.05.2020 р.**

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

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

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

© Хмельницький національний університет, 2020
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2020

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ (101)

Н. Г. МІРОНОВА, Б. Б. АРТАМОНОВВИКОРИСТАННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ У ДОСЛІДЖЕННІ КАР'ЄРІВ
КОРИСНИХ КОПАЛИН ОСАДОВОГО ПОХОДЖЕННЯ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ 7**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ,
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЯ (121, 122, 123, 124)****О. Б. ГАВРИЛИШИН, В. Б. РЕПЕТА, В. М. СЕНЬКІВСЬКИЙ**

ВИБІР АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВАРІАНТІВ ПРОЦЕСУ ОЦИФРОВУВАННЯ СТАРОДРУКІВ 12

Є. Г. ГНАТЧУК, В. Ю. ЧЕРНЕЦЬКА, О. І. МІЩЕНКОФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ СПІР МЕДИЧНОГО ПРАВА
НА ОСНОВІ SWOT-АНАЛІЗУ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПОСЛУГ
ВПРОВАДЖЕННЯ СУРОГАТНОГО МАТЕРИНСТВА 15**Т. О. ГОВОРУЩЕНКО, М. В. КРАСОВСЬКИЙ, А. В. ГОРОШКО, А. А. ЯВНЮК**МОДЕЛЬ ТА АЛГОРИТМ РУХУ КРОКУЮЧОЇ ПЛАТФОРМИ
У БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІЙ КООПЕРАТИВНІЙ РОБОТОТЕХНІЧНІЙ СИСТЕМІ 21**О. О. ГОРДЄЄВ**ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРОФІЛІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ:
ОПЕРАЦІЯ РОЗБИТТЯ СЕМАНТИЧНИХ ТАКСОНОМІЧНИХ СТРУКТУР 26**С. М. ЛИСЕНКО, В. І. КОМАРОВ**МЕТОД ТА ЗАСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ БОТ-МЕРЕЖ,
ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ТЕХНОЛОГІЮ «ПОТІК ДОМЕНІВ» 34**С. М. ЛИСЕНКО, В. Ю. ОМЕЛЬЯНЕНКО, Р. В. ЩУКА**МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ ШПИГУНСЬКОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ 43**В. Ц. МІХАЛЕВСЬКИЙ, Г. І. МІХАЛЕВСЬКА**АСПЕКТИ МІГРАЦІЇ ДАНИХ З ЛОКАЛЬНИХ ЦЕНТРІВ ОБРОБКИ
ДО ГІБРИДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ 50**О. О. ПАВЛОВА, І. Ю. ЛОПАТТО, Т. О. ГОВОРУЩЕНКО**МЕТОД ДІЯЛЬНОСТІ ТА СТРУКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА
НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПОЧАТКОВИХ ЕТАПІВ
ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 61**В. І. ТОМЕНКО, Н. В. САЧАНЮК-КАВЕЦЬКА, О. О. ДМИТРІЄНКО**

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ 65

С. С. ФЕДУШКО, Ю. О. СЄРОВПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ЛІНГВІСТИЧНОГО СЛОВНИКА
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРСОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕБ-КОРИСТУВАЧА 76

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА (124, 125)**А. О. АЗАРОВА, Л. М. ЛЯХОВИЧ**РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХИЩЕНОГО КОНСОЛІДОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО РЕСУРСУ
ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОННОГО ВРЯДУВАННЯ 81**С. П. ЗЕМБИЦЬКИЙ, Н. В. ГРИПИНСЬКА**ПРОЕКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ХМАРНОГО ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА
ДЛЯ ОБРОБКИ АНАМНЕЗУ ПАЦІЄНТІВ ІЗ ЗАХВОРЮВАННЯМ ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ
НА ОСНОВІ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ 88**В. В. КОЧАН**МЕТОД ЗМЕНШЕННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ ПЕРЕХОДУ ДО ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ
ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ З НЕЛІНІЙНИМИ БЛОКАМИ 92**Т. В. НЕСКОРОДЕВА**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗА ДАННИХ
В ПОДСИСТЕМЕ АУДИТА ПРЕДПОСЫЛКИ СРЕДНЕГО УРОВНЯ ИТ СППР 99**МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО (131, 132, 133)****М. М. КОСПЮК, А. М. КОСПЮК, В. С. КРАВЧУК**

МОДУЛЬНА ОБОРОТНА МАШИНА ОБ'ЄМНОГО ВИТІСНЕННЯ 105

І. Ю. КИРИЦЯВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ
ПРИ ПРОНИКНЕННІ ІНДЕНТОРА В ПЛАСТИЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ 109**М. М. КОСПЮК, А. М. КОСПЮК**

РОТОРНО-ЛОПАТЕВА МАШИНА 114

О. Р. СТІЛЕЦЬ, В. О. МАЛАЩЕНКО, В. М. СТІЛЕЦЬВИЗНАЧЕННЯ ЗВЕДЕНИХ ОБЕРТАЛЬНИХ МОМЕНТІВ РІВНЯНЬ ДИНАМІКИ ПРИСТРОЇВ
ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ЧЕРЕЗ ЗУБЧАСТІ ДИФЕРЕНЦІАЛИ ІЗ ЗАМКНУТИМИ ГІДРОСИСТЕМАМИ ... 118**О. М. БЕЗВЕСІЛЬНА, Ю. В. КИРИЧУК, Н. М. НАЗАРЕНКО**

ДВОКАНАЛЬНИЙ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИЙ ГРАВІМЕТР 124

В. С. ТРУШ, К. В. КОВТУН, В. М. ФЕДІРКО, О. Г. ЛУК'ЯНЕНКОДО ПИТАННЯ ПРО ВПЛИВ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ
НА ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ ГФЕ-1..... 128**О. М. БЕЗВЕСІЛЬНА, В. Г. ЦІРУК, В. А. ГАЛИЦЬКИЙ, М. В. ІЛЬЧЕНКО**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ,
ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ СТАБІЛІЗАТОРА 132**ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА (141)****І. О. ГУНЬКО**АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ
ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ 138

Ю. П. ЗАСПА

КОРПУСКУЛЯРНО-ВИХОР-ХВИЛЬОВИЙ СИНТЕЗ

РЕЧОВИНИ З ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ 142

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА (151, 172)**А. Л. ГАНЗЮК, О. В. КРАВЧУК, О. О. КУДИНОВ, А. І. ГОРДСЄВ**

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ПІДРИВНИХ МАЙДАНЧИКАХ

ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ 157

В. В. КОЗЛОВСЬКИЙ, О. Л. ТУРОВСЬКИЙ

СИНТЕЗ СКЛАДНОГО РОЗІМКНУТОГО ЗВ'ЯЗКУ В СИСТЕМІ СИНХРОНІЗАЦІЇ

ПРИ УМОВІ МІНІМІЗАЦІЇ ДИСПЕРСІЇ ФАЗОВОЇ ПОМИЛКИ

В ХОДІ СТЕЖЕННІ ЗА НЕСУЧОЮ ЧАСТОТОЮ 162

А. А. ЛУКІЯНЧУК

МЕТОДИКА ВИДІЛЕННЯ КОРИСНОГО СИГНАЛУ НА ФОНІ ЗАВАД 169

І. С. ПЯТІН, Ю. М. БОЙКО

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КАНАЛЬНОГО КОДУВАННЯ

ДАНИХ КОРИСТУВАЧА КОДАМИ LDPC ДЛЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ 5G 174

В. І. ЧИГІНЬ, П. Я. МИХАЙЛИШИН

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

БЕЗПІЛОТНОГО АВІАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИ ФОТОЗАХОПЛЕННІ 186

**ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ
ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ (161, 181, 182)****А. І. БАБИЧ, О. В. АКАШЕВ**

РОЗРОБКА АСОРТИМЕНТУ ВЗУТТЯ ДЛЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ

НА ОСНОВІ МАРКЕТИНГОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДУМОК УКРАЇНСЬКИХ БІЙЦІВ АТО 191

А. І. БАБИЧ, Н. М. БОРЩЕВСЬКА, Л. О. ФЕДОРЕНКО, А. О. БАБИЧ

РОЗРОБКА КОЛЕКЦІЇ ЖІНОЧОГО ВЗУТТЯ В ЕКО-СТИЛІ З ВЖИВАНИХ РЕЧЕЙ 198

А. І. БАБИЧ, І. М. НІКОЛАЄНКО

РОЗРОБКА КОЛЕКЦІЇ ДИТЯЧОГО ВЗУТТЯ З ОРТО-ПРОФІЛАКТИЧНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

КОНСТРУКЦІЇ ЗАГОТОВКИ ВИРОБІВ 204

А. Г. ДАНИЛКОВИЧ, Н. Б. ХЛЄБНІКОВА

ВИГОТОВЛЕННЯ ВОДОСТІЙКОГО ХУТРОВОГО МАТЕРІАЛУ 209

А. Г. ДАНИЛКОВИЧ, О. О. РОМАНЮК

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ХУТРОВОГО ВЕЛЮРУ

ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОХІМІЧНО АКТИВОВАНОЇ ВОДИ 215

Г. В. ЗУБРИЦЬКА, Т. В. ЄЛІНА, Л. Є. ГАЛАВСЬКА

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ОДНООСНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ТРИКОТАЖУ

ПЕРЕПЛІТЕННЯ ЛАСТИК 2+2 ПІД ДІЄЮ РОЗТЯГУЮЧОГО ЗУСИЛЛЯ 222

Є. М. ЗАВЕРАЧ, С. Я. ПІДГАЙЧУК, Н. С. МАШОВЕЦЬ, Н. М. ЯВОРСЬКА, Л. Р. ДАНЧУК ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ ШЛАМІВ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ТА ПОКРІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І СУМІШЕЙ	227
О. М. КУНИК, О. М. МОРОЗОВА, Д. Г. САРІБСЬКОВА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИДУ ПАКУВАННЯ НА ТЕРМІН ПРИДАТНОСТІ ПИТНОГО ПАСТЕРИЗОВАНОГО МОЛОКА	234
О. А. МИХАЙЛОВСЬКА, А. Б. ДОМБРОВСЬКИЙ, Г. Є. ЛОБАНОВА АНАЛІЗ І ПЛАНУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЖІНОЧИХ СУМОК ПРИ ФОРМУВАННІ ПЕРСПЕКТИВНОЇ КОЛЕКЦІЇ	239
О. В. ОСТАПЧУК, Л. В. ПЕЛИК ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛУБ'ЯНИХ ВОЛОКОН	246
Н. Д. ПРУДНІКОВА, Н. В. ПЕРВАЯ ОЦІНКА ЗДАТНОСТІ ВКЛАДНИХ УСТІЛОК ЗАБЕЗПЕЧУВАТИ ТЕПЛОВИЙ КОМФОРТ	250
А. Л. СЛАВІНСЬКА, О. П. СИРОТЕНКО, В. В. МИЦА, О. М. ДОМБРОВСЬКА ТЕХНОЛОГІЯ МІНІМІЗАЦІЇ ТРУДОРЕСУРСНИХ ЗАТРАТ НА ЗАСАДАХ КРУГООБІГУ СТИЛЬОВОГО БРЕНДУ В ПРОЦЕСАХ РЕДИЗАЙНУ ДЖИНСІВ	256
В. Ю. ЩЕРБАНЬ, А. К. ПЕТКО, О. З. КОЛИСКО, Ю. Ю. ЩЕРБАНЬ, М. І. ШОЛУДЬКО КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ ДЛЯ ВИПАДКУ ЗМІННОГО ДІАМЕТРА СИРОВИНИ	263

ВИКОРИСТАННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ У ДОСЛІДЖЕННІ КАР'ЄРІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН ОСАДОВОГО ПОХОДЖЕННЯ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

У роботі наведено методику досліджень стану кар'єрів корисних копалин осадового походження на прикладі Хмельницької області

Ключові слова: географічні інформаційні системи, дистанційне зондування Землі, кар'єрне поле, ідентифікація території.

N. MIRONOVA, B. ARTAMONOV

Khmelnytskyi National University

THE USE OF GIS TECHNOLOGY IN THE STUDY OF MINERAL DEPOSITS OF SEDIMENTARY ORIGIN OF THE KHMELNYTSKYI REGION

Subsoil use in Ukraine, unfortunately, has many unresolved problems. With open mining, the integration of the geological environment is violated, soil and vegetation cover is removed on large areas, aquifers are disturbed, the terrain is changed, overburden dumps and technical reservoirs are created. This, in turn, leads to a number of negative environmental consequences, including violation of the hydrological regime and siltation of water bodies, increased water and wind erosion, changes in the microclimate, forest degradation, and decreased soil fertility in territories adjacent to mining allotment sites. Today, geographic information systems (GIS) are the most effective tool for understanding and describing a constantly changing geographical environment. The Department of Ecology and Biological Education of Khmelnytskyi National University together with the Center for Special Information Reception and Processing and Navigation Field Control are working on creating a database of quarries of Khmelnytskyi region. To this end, the daily reception and processing of data from artificial satellites of the Earth was carried out as part of the creation of an information-analytical system, one of the issues of which is the monitoring of man-made objects. This made it possible to determine an algorithm for studying the state of sedimentary mineral quarries using GIS technologies, namely, according to Earth remote sensing data and ground-based measurements. The proposed methodology, in our opinion, will solve a number of problems in this direction, and the formation of a database of the status of open pit mining in the region will allow for the organization of control over subsoil use, as well as the timely adoption of scientifically sound management decisions to optimize and develop anthropogenically disturbed landscapes in the Khmelnytskyi region.

Keywords: geographical information systems, remote sensing of the Earth, quarry field, territory identification.

Постановка проблеми. При відкритому видобуванні корисних копалин порушується цілісність геологічного середовища, на значних площах знімається ґрунтово-рослинний покрив, порушуються водоносні горизонти, змінюється рельєф місцевості, створюються відвали розкривних порід та технічні водойми. Що, в свою чергу, призводить до ряду негативних екологічних наслідків, серед яких порушення гідрологічного режиму та замулення водойм, посилення водної та вітрової ерозії, зміна мікроклімату, деградація лісів та зниження родючості ґрунтів на територіях, що прилягають до об'єктів гірничого відводу [1].

Аналіз останніх джерел. В роботах [1–4] доведено, що на сьогодні географічні інформаційні системи (ГІС) є найбільш ефективним інструментом пізнання й опису географічного середовища, що постійно змінюється. Ці системи використовуються для рішення багатьох практичних завдань, пов'язаних, так чи інакше, з просторово-розподільними даними, які використовуються для забезпечення екологічної безпеки й стійкого розвитку регіонів.

Метою роботи є визначення методики дослідження стану кар'єрів корисних копалин осадового походження Хмельницької області з використанням ГІС-технологій з метою контролю за надрокористуванням й прийняття своєчасних управлінських рішень.

Виклад основного матеріалу. При відкритому видобуванні корисних копалин порушується правовий аспект, пов'язаний з недотриманням надрокористувачами чинного законодавства України, що проявляється у виході за межі ліцензійних ділянок, неякісному проведенні рекультивативної, або взагалі нелегального видобуванні. Крім того, в місцях відкритих розробок відбувається знищення лісів, порушення іншої рослинності та виведення із користування великих площ сільськогосподарських угідь внаслідок проведення розкривних робіт та складування порід на поверхні землі [1, 5].

Сучасні технології дозволяють проводити періодичний моніторинг стану різноманітних техногенних об'єктів з використанням супутникового зондування Землі. Знімки, отримані з космосу, дозволяють охоплювати на поверхні Землі великі території, що дає можливість, застосовуючи спеціальні технології комп'ютерної обробки, аналізувати процеси, що досліджуються в один і той же момент часу на великих площах [4–6].

Ще починаючи з 2006 року кафедра екології та біологічної освіти Хмельницького національного університету спільно з Центром прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля (ЦПОСІ та КНП, м. Дунаївці) проводять роботи з питань створення бази даних (БД) кар'єрів Хмельницької області [8].

З цією метою ЦПОСІ та КНП здійснювався щоденний прийом та обробка даних ДЗЗ з штучних супутників Землі у рамках створення інформаційно-аналітичної системи (ІАС), одним з питань якої є моніторинг техногенно-небезпечних об'єктів.

Ці знімки дозволяють здійснювати щоденний моніторинг території України з питань визначення радіаційного балансу, паводкової ситуації, поверхневої температури, що дозволяє оперативно оцінювати територіально-часові зміни на території України, а також проводити моніторинг теплових аномальних явищ з метою виявлення техногенних катастроф. При цьому, для проведення наземних вимірів та точної ідентифікації даних ДЗЗ використовувався GPS-приймач eXplorist 600. Це дозволило визначити алгоритм дослідження стану кар'єрів корисних копалин осадового походження з використанням ГІС-технологій, а саме за даними ДЗЗ та наземними вимірами який наведений на рис. 1.

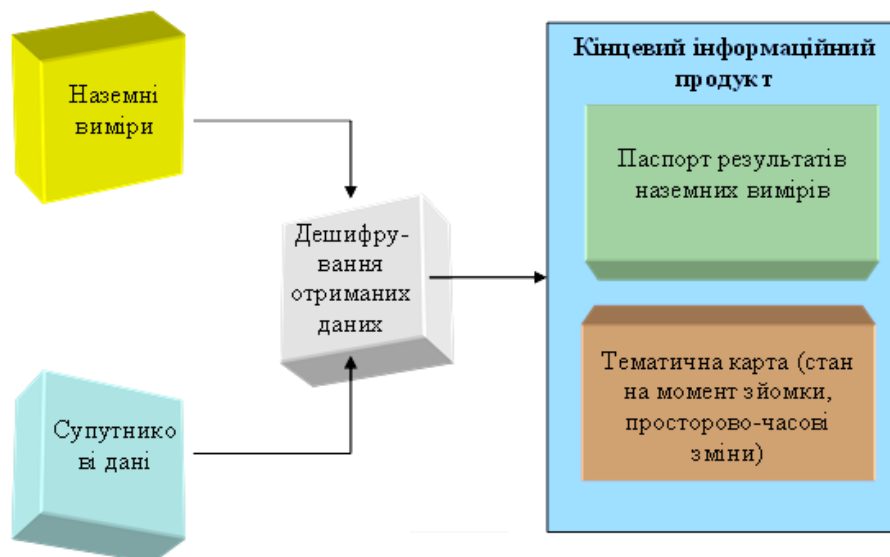


Рис. 1. Алгоритм визначення характеристик кар'єрів за даними ДЗЗ та наземними вимірами

Дослідження стану кар'єрів корисних копалин осадового походження Хмельницької області за запропонованою методикою розглянемо на прикладі діючого Волочиського глиняного кар'єру «Тернопільбуд» (м. Волочиськ), рис. 2.



Рис. 2. Загальний вигляд кар'єрного поля Волочиського глиняного кар'єру «Тернопільбуд»

У результаті проведення наземних вимірювань здійснено ідентифікацію ряду характерних точок місцевості із занесенням їх координат у базу даних (рис. 3, табл. 1).

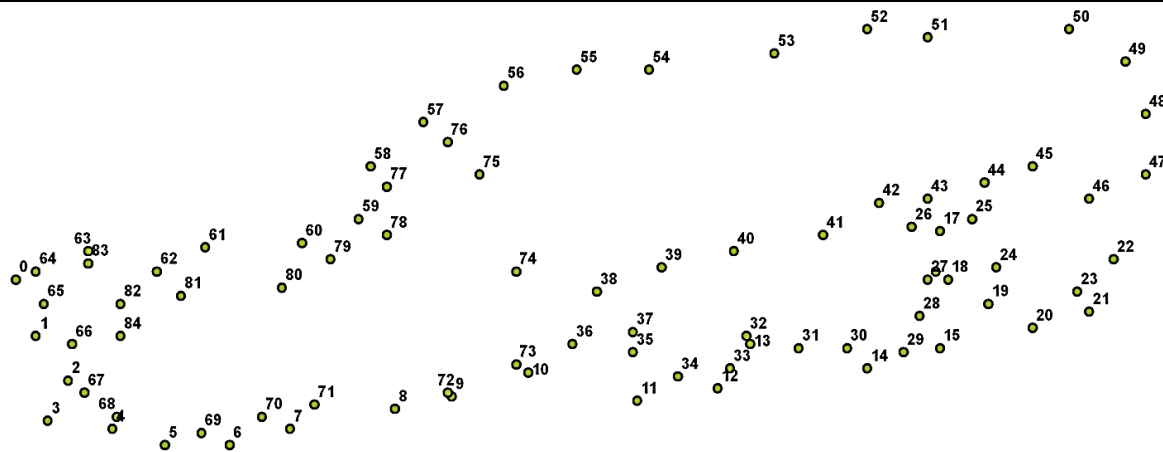


Рис. 3. Контрольні точки кар'єрного поля Волочиського глиняного кар'єру «Тернопільбуд» [3]

Таблиця 1

Результати наземних вимірів на території глиняного кар'єру Тернопільбуд (м. Волочиськ) [3]

Номер точки	Географічна довгота, °	Географічна широта, °	Висота над рівнем моря, м	Номер точки	Географічна довгота, °	Географічна широта, °	Висота над рівнем моря, м
0	26,18338	49,53885	307	43	26,18715	49,53918	302
1	26,18347	49,53862	309	44	26,18738	49,53925	302
2	26,1836	49,53843	309	45	26,18758	49,53932	301
3	26,18352	49,53827	307	46	26,18782	49,53918	301
4	26,18378	49,53823	307	47	26,18805	49,53928	299
5	26,184	49,53817	309	48	26,18805	49,53953	294
6	26,18427	49,53817	309	49	26,18797	49,53975	294
7	26,18452	49,53823	312	50	26,18773	49,53988	294
8	26,18495	49,53832	313	51	26,18715	49,53985	297
9	26,18518	49,53837	312	52	26,1869	49,53988	297
10	26,1855	49,53847	309	53	26,18652	49,53978	299
11	26,18595	49,53835	310	54	26,186	49,53972	297
12	26,18628	49,5384	310	55	26,1857	49,53972	296
13	26,18642	49,53858	310	56	26,1854	49,53965	297
14	26,1869	49,53848	311	57	26,18507	49,5395	300
15	26,1872	49,53857	312	58	26,18485	49,53932	303
16	26,18718	49,53888	307	59	26,1848	49,5391	306
17	26,1872	49,53905	306	60	26,18457	49,539	307
18	26,18723	49,53885	308	61	26,18417	49,53898	306
19	26,1874	49,53875	308	62	26,18397	49,53888	306
20	26,18758	49,53865	308	63	26,18368	49,53897	307
21	26,18782	49,53872	308	64	26,18347	49,53888	307
22	26,18792	49,53893	308	65	26,1835	49,53875	303
23	26,18777	49,5388	308	66	26,18362	49,53858	303
24	26,18743	49,5389	303	67	26,18367	49,53838	303
25	26,18733	49,5391	302	68	26,1838	49,53828	301
26	26,18708	49,53907	299	69	26,18415	49,53822	305
27	26,18715	49,53885	301	70	26,1844	49,53828	306
28	26,18712	49,5387	301	71	26,18462	49,53833	304
29	26,18705	49,53855	303	72	26,18517	49,53838	302
30	26,18682	49,53857	303	73	26,18545	49,5385	301
31	26,18662	49,53857	303	74	26,18545	49,53888	298
32	26,1864	49,53862	300	75	26,1853	49,53928	295
33	26,18633	49,53848	303	76	26,18517	49,53942	296
34	26,18612	49,53845	304	77	26,18492	49,53923	298
35	26,18593	49,53855	304	78	26,18492	49,53903	300
36	26,18568	49,53858	304	79	26,18468	49,53893	301
37	26,18593	49,53863	303	80	26,18448	49,53882	300
38	26,18578	49,5388	301	81	26,18407	49,53878	299
39	26,18605	49,5389	302	82	26,18382	49,53875	301
40	26,18635	49,53897	301	83	26,18368	49,53892	302
41	26,18672	49,53903	302	84	26,18382	49,53862	301
42	26,18695	49,53917	302				

Ідентифікація території кар'єру дає можливість здійснювати збір інформації з космічних супутників з метою проведення моніторингу стану території кар'єру з визначеним періодом, або у разі необхідності.

В нашому варіанті, використання архівного знімку з космічного апарату та даних сучасної зйомки показали, що протягом останніх років розробка кар'єру ведеться у східному напрямку (рис. 4).

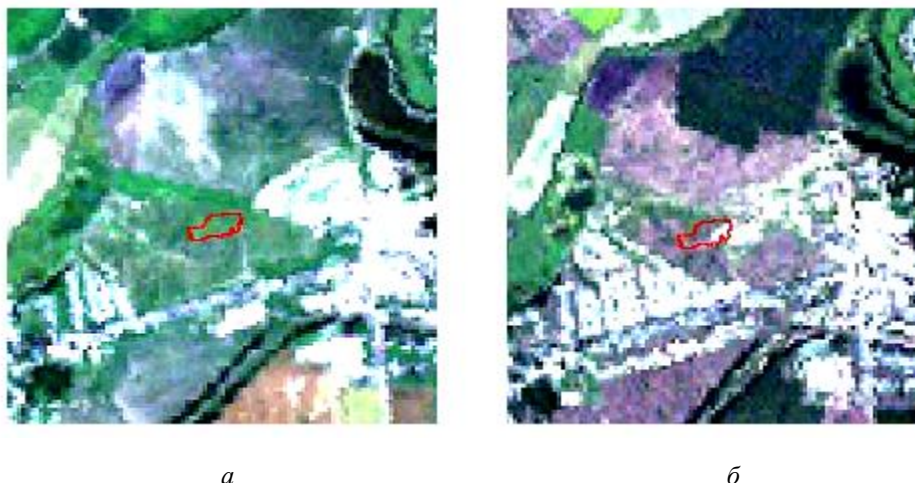


Рис. 4. Космічний знімок території кар'єру: а) архівний; б) на день проведення досліджень [3]

На рис. 5–6 наведено відповідно розроблені 2D- та 3D-моделі стану кар'єру на момент останньої зйомки.

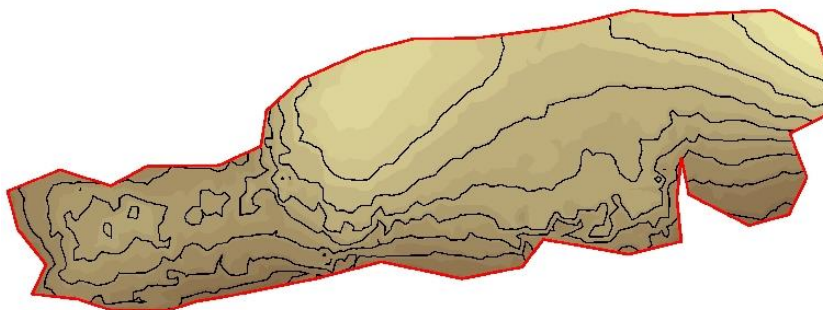


Рис. 5. 2D-модель Волочиського глиняного кар'єру «Тернопільбуд»

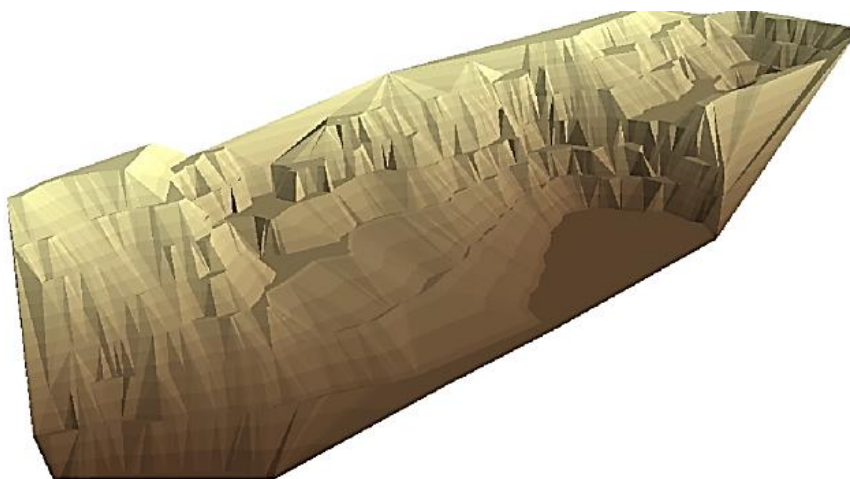


Рис. 6. 3D-модель Волочиського глиняного кар'єру «Тернопільбуд»

Сучасне визначення поняття моніторингу як системи вивчення, прогнозування та активного контролю за зміною стану природного середовища під впливом господарської діяльності і природних факторів з метою обґрунтування його раціонального використання та охорони вимагає здійснення постійного наземного контролю, що обумовлює великі фінансові та людські витрати. Проте сучасні ГІС-технології дозволяють проводити моніторинг за допомогою космічних апаратів, а саме методами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Але для більш детального аналізу стану відкритих кар'єрних розробок на відповідний час, в першу чергу для визначення, наприклад об'єму добутого ґрунту треба повторювати наземні знімання, використовувати безпілотні летальні апарати або синхронізовані знімки з космічних апаратів.

Висновки. Згідно з європейською ландшафтною конвенцією ландшафт відіграє важливу роль у культурній, екологічній, економічній та інших сферах людського суспільства. Одночасно підкреслюється, що різні види антропогенної діяльності прискорюють зміну ландшафту. Це вимагає проведення заходів з їх

ідентифікації, оцінки стану та реєстрації змін. Фактично йдеться про створення системи моніторингу територій. Ця інформація повинна бути відправною точкою для розробки національної і регіональної ландшафтної політики, спрямованої на реалізацію конкретних заходів з контролю, планування, в тому числі поліпшення або відновлення ландшафтів. Запропонована методика, на наш погляд, дозволить вирішити низку проблем в цьому напрямку, а формування бази даних стану відкритих кар'єрних розробок області надасть можливість своєчасного прийняття науково обґрунтованих управлінських рішень щодо оптимізації та розвитку антропогенно порушених ландшафтів Хмельницької області.

Література

1. Шевчук Р.М. Методика супутникового моніторингу геоекологічного стану територій відкритого видобування корисних копалин (на прикладі Житомирського Полісся) : дис. ... канд. геолог. наук : 05.07.12 ; захищена 21.01.2020 / Шевчук Руслан Миколайович. – Київ, 2019. – 206 с.
2. Геоінформаційні технології в екології : навчальний посібник / [Пітак І.В., Негадайлов А.А., Масікевич Ю.Г., Пляцук Л.Д., Шаповров В.П., Моїсєєв В.Ф.]. – Чернівці : 2012. – 273 с.
- 3 Estes J. E. Impact of remote sensing on U.S. geographic / J. E. Estes., J. R. Jensen, D. S. Simonett // Remote Sensing Environ. – 1985. – Vol. 10, no. 1. – P. 43–80.
4. Вишняков В.Ю. Особливості моніторингу забруднення довкілля поблизу техногенно-небезпечних об'єктів з використанням ДЗЗ / В.Ю. Вишняков, А.О. Касимов, О.С. Можаровський // II науково-практична конференція «Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи» 4.10.2018, м. Київ. – С. 49–50.
5. Яковченко А.И. Результаты применения технологии точного позиционирования при обработке GPS-наблюдений / А.И. Яковченко // 3-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». МРФ-2008. Сборник научных трудов. Том I. «Современные и перспективные системы радиолокации, радиоастрономии и спутниковой навигации». Ч. 1. – Харьков : АНПРЕ, ХНУРЕ, 2008. – С. 329–332.
6. Мокін В.Б. Розробка геоінформаційних аналітичних систем державного моніторингу довкілля Вінницької області / В.Б. Мокін // Можливості сучасних ГІС/ДЗЗ-технологій у сприянні вирішення проблем Подільського регіону : матеріали регіональної наради. – Хмельницький, 2004. – С. 61–62.
7. Сайт Центру прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://portal.dzz.gov.ua/portal/home/> – Дата звернення 13.05.2020 р.
8. Стан навколишнього природного середовища Хмельницької області у 2018 році / Хмельницька обласна державна адміністрація. – Хмельницький, 2019. – 218 с.

References

1. Shevchuk R. Methods of Satellite Monitoring of Geoecological Condition of Open Pit Mining Areas (on the example of Zhytomyr Polissya): Dissertation. Candidate of Geological Sciences: 05.07.12: protected 21.01.2020 / Shevchuk Ruslan – Kyiv, 2019. – 206 p.
2. Geoinformation Technologies in Ecology: Textbook / Pitak I., Negadailov A., Masikevich Y., Plyatsuk L., Shaporev V., Moiseev V. – Chernivtsi, 2012. – 273 p.
- 3 Estes J. E. Impact of remote sensing on U.S. geographic / J. E. Estes., J. R. Jensen, D. S. Simonett // Remote Sensing Environ. – 1985. – Vol. 10, no. 1. – P. 43–80.
- 4 Vishnyakov V. Peculiarities of Environmental Pollution Monitoring Near Technogenic-Hazardous Objects Using Remote Sensing / V. Vishniakov, A. Kasimov, O. Mozharovskiy // II Scientific-Practical Conference “Aerospace Technologies in Ukraine: Problems and Prospects” 10/4/2018, Kyiv. – P. 49-50.
5. Yakovchenko A. Results of Application of Technology of Exact Positioning at Processing of GPS-observations // 3rd International Radio Electronic Forum / “Applied Radio Electronics. State and Prospects of Development”. MYFF-2008. Collection of Scientific Works. Volume I. International Conference “Modern and Advanced Radar, Astronomy and Satellite Navigation Systems”. Part 1. – Kharkiv : ANPRE, KNURE, 2008. – P. 329–332.
6. Mokin V. Development of Geoinformation Analytical Systems of State Environmental Monitoring of Vinnytsia Region / V. Mokin // Possibilities of Modern GIS / Remote Sensing Technologies in Helping to Solve the Problems of the Podolsk Region: Materials of the Regional Meeting. – Khmelnytskyi, 2004. – P. 61–62.
7. Site of the Center for Special Information Reception and Processing and Navigation Field Control (CIP). URL: <http://portal.dzz.gov.ua/portal/home/> - (accessed 13.05.2020).
8. State of the Environment of Khmelnytskyi Region in 2018. Khmelnytskyi Regional State Administration. Khmelnytskyi, 2019. 218 p.

Надійшла / Paper received: 06.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 04.06.2020

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЯ (121, 122, 123, 124)

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-2

УДК 004.9+655.254.422

О. Б. ГАВРИЛИШИН, В. Б. РЕПЕТА, В. М. СЕНЬКІВСЬКИЙ

Українська академія друкарства

ВИБІР АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВАРІАНТІВ ПРОЦЕСУ ОЦИФРОВУВАННЯ СТАРОДРУКІВ

На основі ранжування факторів, побудови моделі їх взаємозв'язків та впливу на якість технологічного процесу оцифровування стародруків сформовано альтернативи та визначено оптимальний варіант забезпечення якості оцифровування з використанням багатокритеріальної оптимізації. На основі опрацювання матриць попарних порівнянь із зазначенням варіантів переваг факторів розраховано функції корисності альтернатив. Отримано багатофакторну оцінку альтернативних варіантів. Максимальне значення функції корисності отримане для альтернативи, у якій визначальною є надання переваги фактора «Стан стародруку».

Ключові слова: оцифровування стародруків, альтернативні варіанти, матриця попарних порівнянь, фактори якості процесу, функція корисності.

O. HAVRYLYSHYN, V. REPETA, V. SENKIVSKYI

Ukrainian Academy of Printing

SELECTION OF THE ALTERNATIVE PROCESSES OF OLD PRINTS DIGITALIZATION

Methods of Multi-Attribute Utility Theory MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), MAVT (Multi-Attribute Value Theory) uses decision support in many studies of various human activities. In this case, for the selected factors, the future matrix of comparable comparisons by the Saati method. Thanks to him, among the many options, the participant is able to get the best alternative, which has the maximum usefulness of the selected factors. In the importance of factors was calculated and a model for their influence on the quality of the technological process of digitization of old prints was built. Accordingly, the question arose as to the choice of the optimal variant (alternative) of the process while giving each of its factors a certain advantage.

On the basis of factors ranking, design of the model of their interrelations and the impact on the quality of the technological process of old prints digitization, alternative processes have been formed and the best option for ensuring the quality of digitization using multicriteria optimization has been defined. Using the Pareto technique, four priority factors were selected: the condition of the old print, features of the scanning equipment, software functionality, and the range of optical density. On the basis of processing of pairwise comparisons matrices with indication of advantages of these factors, utility functions of alternatives are calculated. A multifactor assessment of alternative processes is obtained. The maximum value of the utility function is obtained for the alternative in which the determining factor is to give preference to the factor "Condition of an old printing."

Keywords: old prints digitization, alternative processes, matrix of pairwise comparisons, process quality factors, utility function.

Постановка проблеми. Методи багатокритеріальної теорії корисності MAUT (Multi-Attribute Utility Theory), MAVT (Multi-Attribute Value Theory) служать основою підтримки прийняття рішень у багатьох дослідженнях різних сфер діяльності людства. При цьому для вибраних факторів будується матриця попарних порівнянь за методом Сааті [1, 2]. Завдяки йому серед безліч варіантів учасник здатен отримати оптимальну альтернативу, яка володіє максимальною корисністю за відібраними факторами. У роботі [3] було розраховано важливість факторів і побудовано модель щодо їх впливу на якість технологічного процесу оцифровування стародруків. Відповідно повстало питання щодо вибору оптимального варіанту (альтернативи) процесу при надаванні кожному з його факторів певної переваги.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомі роботи розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації щодо забезпечення якості технологічного процесу УФ-флексграфічного друку [4], багатофакторного вибору альтернатив композиційного оформлення книжкових видань та тематичного їх планування [5, 6]. Роботи щодо багатокритеріальної оптимізації за варіантами альтернатив при дослідженні процесу оцифровування стародруків не проводилися.

Мета статті. Використовуючи метод багатокритеріальної теорії корисності, провести розрахунки альтернативних варіантів процесу оцифровування стародруків та провести вибір найбільш оптимального за тим чи іншим фактором.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно з попереднім дослідженням задано множину допустимих альтернатив, з яких з точки зору корисності необхідно зробити вибір – $f_i, (i = \overline{1, m}, m = 7)$: стан стародруку (f_1); діапазон оптичної щільності (f_2); тип скануючого пристрою (f_3); програмне забезпечення (f_4); характеристика цифрової копії (f_5); цифровий шум (f_6); розподіл освітлення (f_7). Згідно з теорією прийняття рішень розв'язування задач багатокритеріальної оптимізації на множині M передбачає визначення максимального значення функції корисності: $f_i, (x) \rightarrow \max_{x \in M}, i = \overline{1, m}$.

Для подальшої оптимізації та визначення альтернатив необхідно обмежити кількість множин факторів досліджуваного процесу. Для цього з множини факторів згідно методу Парето вибираємо найважливіші (множину Парето), тобто фактори, які мають суттєво більші вагові значення.

Багатокритеріальний вибір альтернативи побудований на основі методу лінійного згортання факторів [7], суть якого полягає у лінійному об'єднанні усіх часткових цільових функціоналів $f_1, f_2, f_3, \dots, f_m$ в один:

$$F(w, x) = \sum_{i=1}^m w_i f_i(x) \rightarrow \max_{x \in M}; \quad w \in W, \quad (1)$$

$$\text{де } W = \left\{ w = (w_1, \dots, w_m)^T; \begin{matrix} w_i > 0; \\ \sum_{i=1}^m w_i = 1 \end{matrix} \right\}.$$

Згідно з теоремою багатофакторної теорії корисності, якщо фактори незалежні за корисністю та перевагою, то існує функція корисності:

$$U(x) = \sum_{i=1}^m w_i u_i(y_i), \quad (2)$$

де $U(x)$ – багатофакторна функція корисності ($0 \leq U(x) \leq 1$) альтернативи x ; $u_i(y_i)$ – функція корисності i -го фактора ($0 \leq u_i(y_i) \leq 1$); y_i – значення альтернативи x за i -м фактором; W_i – вага i -го фактора, причому

$$0 < w_i < 1, \quad \sum_{i=1}^m w_i = 1. \quad (3)$$

Чим більша величина багатофакторної корисності, тим більше приваблива альтернатива для прийняття розв'язку заданої задачі.

Фактори, що відповідають множині Парето, показано у табл. 1. Оскільки для дослідження обрано нову підмножину факторів з певною важливістю у технологічному процесі оцифрування стародруків проведемо уточнення їх вагових значень попарним порівнянням факторів і побудуємо відповідну матрицю (табл. 2).

Таблиця 1

Альтернативи процесу оцифрування за множиною Парето

Назва фактора	Вага фактора	Оцінювання альтернатив за факторами, %			
		A	B	C	D
f_1 – стан стародруку	28	40	30	20	10
f_2 – особливість скануючого обладнання	23	30	30	25	10
f_3 – функціональність програмного забезпечення	18	10	20	20	50
f_4 – діапазон оптичної щільності	15	40	20	20	20

Таблиця 2

Матриця попарних порівнянь пріоритетних факторів

	f_1	f_2	f_3	f_4
f_1	1	2	4	5
f_2	0,5	1	2	2,5
f_3	0,25	0,5	1	1,25
f_4	0,2	0,4	0,8	1

Для пріоритетних факторів отримано їх уточнені ваги: $S_1 = 0,513$; $S_2 = 0,256$; $S_3 = 0,128$; $S_4 = 0,103$. Сформуємо матриці оцінювання альтернатив за факторами:

Корисність за фактором f_1 :					Корисність за фактором f_2 :				
	A	B	C	D		A	B	C	D
A	1	2	3	4	A	1	1	2	3
B	0,5	1	1,5	2	B	1	1	2	3
C	0,33	0,67	1	1,33	C	0,5	0,5	1	1,5
D	0,25	0,5	0,75	1	D	0,33	0,33	0,66	1
$\lambda_{\max} = 4; IU = 0; WU = 0.$					$\lambda_{\max} = 4; IU = 0; WU = 0.$				

$$u_{11} = 0,48; u_{12} = 0,24; u_{13} = 0,160; u_{14} = 0,12$$

$$u_{21} = 0,352; u_{22} = 0,352; u_{23} = 0,176; u_{24} = 0,117$$

Корисність за фактором f_3 :					Корисність за фактором f_4 :				
	A	B	C	D		A	B	C	D
A	1	3	2	1	A	1	2	2	2
B	0,33	1	0,6	0,33	B	0,5	1	1	1
C	2	1,5	1	0,5	C	0,5	1	1	1
D	1	3	2	1	D	0,5	1	1	1
$\lambda_{\max} = 4; IU = 0; WU = 0.$					$\lambda_{\max} = 4; IU = 0; WU = 0.$				

$$u_{31} = 0,352; u_{32} = 0,117; u_{33} = 0,176; u_{34} = 0,352$$

$$u_{41} = 0,4; u_{42} = 0,2; u_{43} = 0,2; u_{44} = 0,2$$

Для перевірки узгодженості результатів визначимо власне значення вектора пріоритету $\lambda_{\max}$, індекс узгодженості IU і відношення узгодженості WU для кожної матриці. За формулою (2) розраховуємо варіанти для обчислення значень функцій корисності:

$$\begin{aligned} U_1 &= s_1 \cdot u_{11} + s_2 \cdot u_{21} + s_3 \cdot u_{31} + s_4 \cdot u_{41} \\ U_2 &= s_1 \cdot u_{12} + s_2 \cdot u_{22} + s_3 \cdot u_{32} + s_4 \cdot u_{42} \\ U_3 &= s_1 \cdot u_{13} + s_2 \cdot u_{23} + s_3 \cdot u_{33} + s_4 \cdot u_{43} \\ U_4 &= s_1 \cdot u_{14} + s_2 \cdot u_{24} + s_3 \cdot u_{34} + s_4 \cdot u_{44} \end{aligned} \quad (3)$$

Підставивши у вирази отримані вище значення, отримаємо:

$$\begin{aligned} U_1 &= 0,513 \cdot 0,48 + 0,256 \cdot 0,24 + 0,128 \cdot 0,16 + 0,103 \cdot 0,12 = 0,34 \\ U_2 &= 0,513 \cdot 0,35 + 0,256 \cdot 0,352 + 0,128 \cdot 0,176 + 0,103 \cdot 0,117 = 0,31 \\ U_3 &= 0,513 \cdot 0,352 + 0,256 \cdot 0,117 + 0,128 \cdot 0,176 + 0,103 \cdot 0,352 = 0,18 \\ U_4 &= 0,513 \cdot 0,4 + 0,256 \cdot 0,2 + 0,128 \cdot 0,2 + 0,103 \cdot 0,2 = 0,30 \end{aligned}$$

Максимальне значення отримане для альтернативи U_1 , у якій перевагу надано фактору f_1 (стан стародруку).

Висновок. Отже, за результатами визначення альтернатив пріоритетом володіє альтернатива U_1 , у якій надано перевагу надано фактору f_1 (стан стародруку), що і є оптимальним варіантом. Стан стародруку є визначальним для процесу оцифрування, адже він визначає можливості його сканування на певному обладнанні з встановленням оптимального освітлення, визначає діапазон оптичної щільності, який необхідно піддавати коректуванню під час цифрового оброблення копії чи застосовувати інші методи компенсації ділянок зображення.

Література

1. Саати Т. Принятие решений (метод анализа иерархий) / Саати Т. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.
2. Шакиров В.А. Многокритериальная оценка альтернатив на основе теории полезности в условиях неопределенности предпочтений лица, принимающего решения / В.А. Шакиров // Нечеткие системы и мягкие вычисления. – 2018. – Т. 13, № 1. – С. 17–35.
3. Olena Tsimer, Vyacheslav Repeta, Ihor Myklushka. Analysis of quality factors for digitization process of old books. Journal of Graphic Engineering and Design. 2020. Vol. 11, № 1.
4. Репета В.Б. Вибір альтернативи процесу вузькорулонного УФ-флексграфічного друку / В.Б. Репета, Н.С. Гургал, В.М. Сеньківський // Квалілогія книги. – 2012. – № 2 (22). – С. 62–64.
5. Сеньківська Н.Є. Багатофакторний вибір альтернатив композиційного оформлення книжкового видання / Н.Є. Сеньківська, І.В. Піх, В.М. Сеньківський // Технологія і техніка друкарства. – 2011. – Вип. 2. – С. 146–152.
6. Піх І.В. Проектування та розрахунок альтернативних варіантів реалізації технологічних процесів / І.В. Піх, В.М. Сеньківський, Р.Р. Андріїв // Технологія і техніка друкарства. – 2015. – Вип. 2. – С. 55–62.
7. Бартіш М.Я. Дослідження операцій. Ухвалення рішень і теорія ігор. Ч. 3 / М.Я. Бартіш, І.М. Дудзяний. – Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2009. – 278 с.

References

1. Saati T. Prinyatie reshenij (metod analiza ierarhij) / Saati T. – M. : Radio i svyaz, 1993. – 278 s.
2. Shakirov V.A. Mnogokriterialnaya ocenka alternativ na osnove teorii poleznosti v usloviyah neopredelennosti predpochtenij lica, prinimayushhego resheniya / V.A. Shakirov // Nechetkie sistemy i myagkie vychisleniya. – 2018. – T. 13, № 1. – S. 17–35.
3. Olena Tsimer, Vyacheslav Repeta, Ihor Myklushka. Analysis of quality factors for digitization process of old books. Journal of Graphic Engineering and Design. 2020. Vol. 11, № 1.
4. Repeta V.B. Vybir alternativy protsesu vuzkorulonnoho UF-fleksografichnoho druku / V.B. Repeta, N.S. Hurhal, V.M. Senkivskyi // Kvalilohiia knyhy. – 2012. – № 2 (22). – S. 62–64.
5. Senkivska N.Ie. Bahatofaktorniy vybir alternativ kompozitsiinoho oformlennia knyzhkovoho vydannia / N.Ie. Senkivska, I.V. Pikh, V.M. Senkivskyi // Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva. – 2011. – Vyp. 2. – S. 146–152.
6. Pikh I.V. Proektuvannia ta rozrakhunok alternativnykh variantiv realizatsii tekhnolohichnykh protsesiv / I.V. Pikh, V.M. Senkivskyi, R.R. Andriiv // Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva. – 2015. – Vyp. 2. – S. 55–62.
7. Bartish M.Ia. Doslidzhennia operatsii. Ukhvalennia rishen i teoriia ihor. Ch. 3 / M.Ia. Bartish, I.M. Dudzianyi. – Lviv : Vyd. tsentr LNU im. Ivana Franka, 2009. – 278 s.

Надійшла / Paper received: 14.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020

УДК 004.896

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-3

Є. Г. ГНАТЧУК, В. Ю. ЧЕРНЕЦЬКА, О. І. МІЩЕНКО

Хмельницький національний університет

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ СППР МЕДИЧНОГО ПРАВА НА ОСНОВІ SWOT-АНАЛІЗУ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПОСЛУГ ВПРОВАДЖЕННЯ СУРОГАТНОГО МАТЕРИНСТВА

В роботі проведено оцінку впровадження ПСМ в Україні із застосуванням SWOT-аналізу. Проведений SWOT-аналіз дає змогу зрозуміти та використати усі сильні сторони та можливості ПСМ, розробити систему стратегічних дій щодо удосконалення та усунення усіх недоліків із врахуванням зовнішніх загроз та особливостей системи. На основі проведеного аналізу розроблено критерії, які забезпечують якість, надійність та ефективність використання інформації в базах знань СППР, враховуючи предметну галузь. Розроблену структуру формалізації процесу прийняття рішення в галузі медичного права на прикладі сурогатного материнства, яку в подальшому планується використати за основу для модуля прийняття рішення в СППР галузі медичного права.

Ключові слова: сурогатне материнство, правове регулювання, SWOT-аналіз, стратегія, критерії, система підтримки прийняття рішень.

Ye. HNATCHUK, V. CHERNETSKA, O. MISHCHENKO

Khmelnytskyi National University

FORMALIZATION OF THE DECISION-MAKING PROCESS OF THE DSS OF MEDICAL LAW ON THE BASIS OF SWOT-ANALYSIS OF THE ASSESSMENT OF THE QUALITY OF SERVICES OF INTRODUCTION OF A SURROGATE MOTHERHOOD

Today, one of the most important problems in our modern world is the reproductive health of the population. Unfortunately, for some reason and circumstance, not all families have the ability to perform a reproductive function – 10–15 percent of families in Ukraine suffer from infertility.

One way to solve this problem is to use surrogacy (SM). This process is quite complex and includes two components that are closely intertwined – legal and medical. Each of these parties has a number of criteria, requirements and recommendations.

In general, the process of surrogacy is due to the need to analyze complex purposeful processes in terms of their structure and organization. Practice requires recommendations on the best (optimal) management of such processes. The development of the latter involves decision-making to assess the possibility or impossibility of a surrogacy procedure.

Therefore, in order to provide a more complete analysis and assessment of the implementation of surrogacy services (PSM) in Ukraine and prospects for its further development, a SWOT analysis of PSM in Ukraine was conducted.

This paper examines the implementation of surrogate maternity services in Ukraine through application of the SWOT-analysis. The SWOT-analysis conducted within this research provides for understanding and usage of all strong points and opportunities of surrogacy, as well as for development of the system for strategic actions aimed at improving it and eliminating all the flaws, with due regard to the external threats and particularities of the system. Based on the analysis, criteria have been developed that demonstrate the quality, reliability and effectiveness of information data in the knowledge base DSS, which creates the subject. The developed structure uses the decision on decision-making in the field of medical rights to use a surrogate material nature, and in this regard it is planned to use as a basis for the module of decision-making in DSS in the field of medical law.

Keywords: surrogate motherhood, legal regulation, SWOT-analysis, strategy, criteria, design support system.

Вступ. На сьогодні однією з найважливіших проблем в нашому сучасному світі залишається репродуктивне здоров'я населення. На жаль, з певних причин та обставин не всі сім'ї мають здатність виконувати репродуктивну функцію – 10–15 % сімей в Україні страждають безплідністю.

Одним із способів вирішення цієї проблеми є застосування сурогатного материнства (СМ). Цей процес є доволі складним та містить в собі дві складові, які тісно між собою переплітаються – правова та медична. Кожна з цих сторін має низку критеріїв, вимог та рекомендацій.

Україна належить до числа тих держав, де на законодавчому рівні дозволені допоміжні репродуктивні технології. Незважаючи на те, що ця система є досить недосконалою в нашій країні, немає чіткого механізму дій, залишається багато спірних питань, що потребують дослідження та пошуку вирішення [1]. В Україні стоїть питання розроблення технології, яка б дозволяла медичним працівникам та лікарям оперативно отримувати інформацію за їхнім фахом, при цьому зменшити відсоток інформаційних втрат зі сторони правової галузі [2].

Загалом процес сурогатного материнства зумовлений необхідністю аналізу складних цілеспрямованих процесів з точки зору їх структури і організації. Практика потребує рекомендацій з якнайкращого (оптимального) управління такими процесами. Вироблення останніх пов'язане з прийняттям рішень щодо оцінки можливості або неможливості проведення процедури сурогатного материнства. Тому з метою забезпечення більш повного аналізу і оцінки впровадження послуг сурогатного материнства (ПСМ) в Україні та перспектив її подальшого розвитку проведено SWOT-аналіз ПСМ в Україні.

Мета роботи – провести оцінку впровадження ПСМ із застосуванням SWOT-аналізу, за результатами якого розробити критерії, які забезпечать якість, надійність та ефективність використання інформації, враховуючи предметну галузь. Проведена оцінка дасть змогу формалізувати процес прийняття рішення в галузі медичного права на прикладі сурогатного материнства, яке в подальшому планується використати за основу для модуля прийняття рішення в СППР галузі медичного права.

Результати досліджень та їх обговорення. Для того, щоб провести даний аналіз та провести оцінку впровадження ПСМ, необхідно виокремити основні правові проблеми використання сурогатного материнства [3].

В сучасній медичній науці існує два типи СМ [3]:

1) повна або гестаційна сурогатність – перенесення в організм сурогатної матері ембріона людини, зачатого подружжям, дружиною та донором, донорами. При цьому сурогатна мати не має генетичного зв'язку з дитиною;

2) часткова або гендерна сурогатність передбачає генетичний зв'язок з дитиною, оскільки використовується яйцеклітина сурогатної матері.

Необхідними умовами для проведення сурогатного (замінного) материнства є [4]:

1) наявність медичних показань до сурогатного материнства;

2) документи, необхідні для проведення сурогатного материнства;

3) подружжя (або один з майбутніх батьків), в інтересах якого здійснюється сурогатне материнство, повинно (повинен) мати генетичний зв'язок з дитиною. Слід звернути увагу на те, що ч. 2 ст. 123 Сімейного кодексу України [5] в 2011 році зазнала певних змін, а саме: після слів «зачатого подружжям» була доповнена словами «чоловіком і жінкою». Такі зміни виключили можливість участі в програмах сурогатного материнства іноземних громадян, які перебувають в зареєстрованих одностатевих шлюбах.

Сурогатною матір'ю може бути: повнолітня дієздатна жінка за умови наявності власної здорової дитини, добровільної письмово оформленої заяви сурогатної матері, а також за відсутності медичних протипоказань. Дозволяється виношування вагітності близькими родичами майбутніх батьків (мати, сестра, двоюрідна сестра тощо) [3].

Договір про сурогатне материнство не можуть укласти дружина та чоловік, які:

1) позбавлені батьківських прав, якщо ці права не були поновлені;

2) були стороною договору сурогатного материнства, але договір розірвано з їхньої вини;

3) були усиновлювачами (опікунами, піклувальниками, прийомними батьками, батьками-вихователями) іншої дитини, але усиновлення було скасовано або визнано недійсним (було припинено опіку, піклування чи діяльність прийомної сім'ї або дитячого будинку сімейного типу) з їхньої вини;

4) перебувають на обліку або на лікуванні у психоневрологічному чи наркологічному диспансері;

5) зловживають спиртними напоями або наркотичними засобами;

6) не мають постійного місця проживання та постійного заробітку (доходу);

7) страждають на хвороби, перелік яких затверджений Міністерством охорони здоров'я України;

8) були засуджені за злочини проти життя і здоров'я, волі, честі та гідності, статевої свободи та статевої недоторканності особи, проти громадської безпеки, громадського порядку та моральності, у сфері обігу наркотичних засобів, психотропних речовин, їх аналогів або прекурсорів, або мають непогашену чи не зняту в установленому законом порядку судимість за вчинення інших злочинів;

9) за станом здоров'я потребують постійного стороннього догляду; 10) є особами без громадянства [3].

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

Аналіз особливостей послуги сурогатного материнства в Україні дозволяє провести оцінку впровадження ПСМ, використовуючи технологію SWOT-аналізу.

Аналіз особливостей застосування SWOT-аналізу. На сьогодні однією з найуспішніших системних технологій, раціоналістичного підходу для оцінки діяльності різних сфер, регіонів, окремих програм, установ та закладів, розробки та реалізації стратегії їх перспективного планування є SWOT-аналіз [6–9].

У загальному вигляді SWOT-аналіз не містить економічних категорій, тому нині він зарекомендував себе як зручна універсальна методологія, що використовується для розроблення стратегій у найрізноманітніших областях життєдіяльності.

Основна мета SWOT-аналізу – дослідження сильних і слабких сторін структури (досліджуваного об'єкта, тощо), аналіз потенційних загроз для неї з боку зовнішнього середовища, пошук і визначення можливих шляхів розвитку структури, які визначаються потенційним сприянням зовнішнього середовища, і на основі цього – вироблення можливих стратегій розвитку або функціонування структури [10].

Суть SWOT-аналізу полягає у виокремленні чотирьох категорій:

Strengths – сильних сторін;

Weaknesses – слабких сторін;

Opportunities – можливостей;

Threats – загроз.

Методологія SWOT передбачає виявлення переліку сильних і слабких сторін, а також загроз і можливостей організації з урахуванням поточної ситуації. Матриця SWOT будується у двох рівнях: стан внутрішнього середовища і стан зовнішнього середовища. Кожний рівень поділяється на дві частини: сила і слабкість потенціалу об'єкта, що вивчається, можливості і загрози, виявлені в зовнішньому середовищі. Це представлено у вигляді матриці в таблиці 1.

Таблиця 1

Таблиця представлення акроніму SWOT

	Позитивний вплив	Негативний вплив
Внутрішнє середовище	Strengths	Weaknesses
Зовнішнє середовище	Opportunities	Weaknesses

Проведення SWOT-аналізу послуги сурогатного материнства в Україні. Потрібно чітко визначити чинники внутрішнього середовища і зовнішнього. Сильні і слабкі сторони – це чинники внутрішнього середовища ПСМ, загрози і можливості – зовнішнього. Зробити це необхідно за допомогою заповнення таблиці (табл. 2). Таблиця містить три колонки: перша, де записуються чинники, друга колонка це внутрішнє середовище “В”, третя – зовнішнє “З”. Внутрішнє середовище може мати сильні і слабкі сторони. Сильні сторони позначені символом “+”, а слабкі “-”. Зовнішнє середовище визначає можливості та загрози. Можливості позначені символом “+”, а загрози “-”.

Отже, якщо елемент в таблиці 2 помічений символом “В +”, то це означає, що елемент характеризує сильну сторону внутрішнього середовища, якщо символом “В -” – то слабку сторону внутрішнього середовища. Якщо ж елемент помічений символом “З +”, то це означає, що елемент характеризує можливості, що створюються зовнішнім середовищем і які можуть бути реалізовані внутрішнім середовищем, якщо символом “З -”, то характеризує загрози, які створюються зовнішнім середовищем і які обмежують можливості внутрішнього середовища

Таблиця 2

Таблиця визначення виду середовища

Чинники, критерії послуги сурогатного материнства в Україні	Види середовищ	
	Внутрішнє «В»	Зовнішнє «З»
Покращення демографічної ситуації в Україні		+
Реалізація ідеї батьківства для безплідних пар		+
Поява нових медичних закладів		+
Медично-етичний аспект даної процедури		-
Дозвіл на законодавчому рівні ПСМ в Україні	+	
Недосконалість юридично-правової системи ПСМ в Україні		-
Розвиток нових біотехнологій		+
Достатня кількість прогресуючих, кваліфікованих лікарів	+	
Інтеграція української медицини в європейський медичний простір		+
Ефективність використання ресурсів охорони здоров'я	+	
Ризик народження дитини з фізичними чи психічними вадами, вродженими аномаліями, наслідки мертвородження	-	
Висока вартість	-	
Невідповідальність однієї зі сторін, які уклали договір про ПСМ	-	
Передбачуване фінансове забезпечення ПСМ		+
Використання досвіду інших країн	+	
Шахрайство	-	
Наявність новітніх світових технологій та методів запліднення в українських клініках репродуктивної медицини	+	
Перебої та недоліки щодо стабільного міжбюджетного фінансування сфери охорони здоров'я		-
Комфорт і безпека при наданні медичних послуг	+	

Після заповнення таблиці 2, формуємо SWOT-матрицю представлену в таблиці 3.

При аналізі послуги сурогатного материнства із застосуванням матриці SWOT виявлено основні сильні і слабкі сторони, що потребують подальшого зміцнення:

- на даний період часу в Україні є достатня кількість медичних вишів, які успішно випускають молодих прогресивних спеціалістів з сучасним науковим підходом;
- сфера послуги сурогатного материнства в Україні досить успішно та ефективно використовує державні ресурси охорони здоров'я, що дозволяє впевнено крокувати до поставлених нею цілей;
- партнерство з зарубіжними колегами допомагає українським спеціалістам репродуктивної медицини розвиватись та йти в ногу зі сучасними технологіями, використовувати їхній досвід роботи для удосконалення та надання якісної послуги в Україні, що в результаті виводить її на новий рівень та суттєво підвищує конкурентоспроможність на ринку медичних послуг;
- в українських клініках безплідні пари вже можуть скористатись великим вибором сучасних методів запліднення та сурогатного материнства;

– аспекти комфорту та естетики дають додаткові бали для клінік репродуктивної медицини, а це, в свою чергу, збільшує довіру пацієнтів та покращує комунікацію;

– Україна належить до числа держав, у яких допоміжні репродуктивні технології дозволені на законодавчому рівні та мають нормативно-правове регулювання.

Таблиця 3

SWOT-матриця	
Внутрішнє середовище	Сильні сторони 1. Достатня кількість прогресуючих, кваліфікованих лікарів. 2. Ефективність використання ресурсів охорони здоров'я. 3. Використання досвіду інших країн. 4. Наявність новітніх світових технологій та методів запліднення в Українських клініках репродуктивної медицини. 5. Комфорт і безпека при наданні медичних послуг. 6. Дозвіл на законодавчому рівні ПСМ в Україні
	Слабкі сторони 1. Ризик народження дитини з фізичними чи психічними вадами, вродженими аномаліями, наслідки мертвородження. 2. Висока вартість. 3. Невідповідальність однієї зі сторін, які уклали договір про ПСМ. 4. Шахрайство.
Зовнішнє середовище	Можливості 1. Покращення демографічної ситуації в Україні. 2. Реалізація ідеї батьківства для безплідних пар. 3. Поява нових медичних закладів. 4. Розвиток нових біотехнологій. 5. Інтеграція української медицини в європейський медичний простір. 6. Передбачуване фінансове забезпечення ПСМ
	Загрози 1. Медично-етичний аспект даної процедури. 2. Недосконалість юридично-правової системи ПСМ в Україні. 3. Перебої та недоліки щодо стабільного міжбюджетного фінансування сфери охорони здоров'я

Ключові заходи щодо усунення слабких сторін ПСМ доцільно спрямувати на:

– при проведенні даної процедури завжди є ризики народження дитини з фізичними чи психічними вадами, вродженими аномаліями, наслідки мертвородження. Тому це необхідно врегульовувати при укладенні договору про сурогатне материнство та прописати всі ризики у ньому. Це допоможе мінімізувати ризики матеріальних втрат для однієї зі сторін договору, а також захистити себе з юридично-правової сторони;

– незважаючи на досить високий попит цієї процедури, її вартість залишається недосяжно великою для незабезпечених безплідних пар;

– невідповідальність однієї зі сторін укладеного договору, може призвести до неочікуваних наслідків – це, в свою чергу, тягне за собою матеріальні втрати та моральну шкоду;

– як і в будь якій іншій сфері, залишаються ризики шахрайства, наприклад: деякі сурматері завдяки засобам своїх клієнтів проходять обстеження організму, необхідне лікування – після чого зникають. Також не виключені і ризики шантажу зі сторони сурматері про збільшення вартості послуги, сурматері може відмовитись віддавати дитину або ж почати претендувати на певні майнові статки замовника. Тому варто звертатися до надійних компаній, які надають послуги сурогатного материнства. Такі агентства шукають проміжних матерів, займаються їх обстеженням, можуть допомогти зі складанням договору, кошторису. До них подружжя може звертатися і в складних ситуаціях, що виникають під час вагітності.

Реалізація можливостей дозволить:

– покращити демографічну ситуацію в Україні та в світі загалом, тим самим зможе реалізувати ідею батьківства для безплідних пар – це покращить рівень задоволеності населення та, відповідно, якість життя;

– дозволить збільшити кількість лікувальних закладів репродуктивної медицини: нові медичні заклади – нові робочі місця для лікарів. Це зміцнить економіку України та зменшить кількість безробітного населення;

– розвиток нових біотехнологій дозволить інтегрувати українську медицину в європейський медичний простір, що дасть Україні додаткову перевагу та зміцнить її позицію на світовій арені;

– передбачуване фінансове забезпечення ПСМ забезпечить успішний науковий розвиток репродуктивної медицини в Україні та дасть можливості реалізації потенціалу через пріоритетні державні програми.

Усунення негативних факторів (загроз):

– відносно соціального явища сурогатного материнства громадськість зайняла декілька позицій. З одного боку, явище уже має реальну практичну реалізацію, тобто є фактом. З іншої сторони, релігійний аспект питання лишається відкритим: значною частиною громадян сурогатне материнство вважається протиприродним процесом. Зокрема, проблему становить також і недостатня інформованість населення щодо явища, яка породжує недовіру й непорозуміння щодо нього. Це шкодить головній меті, а саме – боротьбі з безпліддям;

– недосконалість юридично-правової системи ПСМ в Україні залишає за собою багато важливих аспектів, які не можливо врегулювати. Особливо це стосується ситуації, коли учасниками програми

планують бути громадяни тих країн, де таку процедуру заборонено. Тому залишається багато спірних питань, що потребують дослідження та пошуку вирішення;

– перебої та недоліки щодо стабільного міжбюджетного фінансування сфери охорони здоров'я можуть значно зашкодити та уповільнити розвиток репродуктивної медицини в Україні. Необхідно впровадити загальнодержавні заходи щодо поліпшення економічної ситуації, розробити та впровадити зміни нових функцій для системи фінансування сфери охорони здоров'я.

На основі SWOT-аналізу проведемо формалізацію процесу прийняття рішення СППР медичного права.

Якість функціонування систем підтримки прийняття рішень СППР визначається кількістю інформації у їхніх базах та стратегією їх використання. Чим якісніше буде наповнення таких систем, тим достовірніше буде рішення яке приймається. Експертам простіше представити свої знання у вигляді продукційних правил, а також існують та широко розповсюджені механізми побудови логічного виведення на основі продукційних правил.

Враховуючи специфіку предметної галузі – медичне право, необхідно розробити критерії, які забезпечать якість, надійність та ефективність використання інформації в базах знань СППР.

Основними проблемами, які виникають в процесі здобуття та верифікації знань для баз знань СППР є наявність суперечливої інформації, дублювання інформації та неповнота.

Наявність суперечливої інформації призводить до конфліктів в процесі логічного виведення, зацикловання та одержання неоднозначних результатів, що може бути причиною аномальної поведінки СППР.

Несуперечливість інформації характеризується:

- відсутністю тверджень, що конфліктують;
- точністю вирішення задач предметної галузі.

Додатковими характеристиками критерію несуперечливості, є наступні показники:

- корисність інформації;
- повнота інформації.

Якщо існує така множина W , яка дозволяє ідентифікувати усі запити в СППР з множини запитів, то інформація є корисною та її об'єм достатній, тобто $W = W_{kor}$.

Якщо $W > W_{kor}$, то у множинах даних та знань існує надлишок інформації. У такому випадку процес формування рішення є успішним, але виникає необхідність опрацювання надлишкової інформації.

Отже, якщо при додаванні нового корисного правила повнота БЗ не зросла, то правило є надлишковим і його наявність в базі знань може призвести до прямого або ланцюжкового конфліктів. Тому, потрібно, щоб експерт вказав яка інформація є надлишковою.



Рис. 1. Формалізація процесу прийняття рішення СППР

Якщо $W < W_{kor}$, то у множинах даних та знань недостатньо інформації. У такому випадку рішення не буде прийнято, і виникає необхідність поповнення БЗ необхідною інформацією.

Розглянемо процес формування логічного ланцюжку рішень для вищезгаданих випадків.

При $W = W_{kor}$: $L1 \rightarrow L2 \rightarrow L3 \rightarrow L4 \rightarrow L5 \rightarrow L6$ – логічний ланцюжок рішень реалізується за скінчену кількість кроків.

При $W > W_{kor}$: $L1 \rightarrow L2 \rightarrow L3 \rightarrow L4 \rightarrow L5 \rightarrow L6 \rightarrow L4 \rightarrow L5$ – логічний ланцюжок рішень реалізується за скінчену кількість кроків, але у ньому наявні випадки повторного використання одних і тих же суджень (петлі).

При $W < W_{kor}$: $L1 \rightarrow L2 \rightarrow L3 \rightarrow ?$ або $L1 \rightarrow L2 \rightarrow L3 \rightarrow L1$ – логічний ланцюжок рішень є неповним, або зациклюється.

У процесі наповнення баз знань СППР експерт має домогтися ситуації, коли $W = W_{kor}$.

Для формалізації процесу прийняття рішення в галузі медичного права на прикладі сурогатного материнства розроблено його структуру, яка зображена на рис. 1.

Розроблену структуру формалізації процесу прийняття рішення в галузі медичного права на прикладі сурогатного материнства в подальшому планується використати за основу для модуля прийняття рішення в СППР галузі медичного права.

Висновки. Таким чином, проведене дослідження дозволяє зробити висновок, що послуга сурогатного материнства в Україні залишається досить актуальною на сьогодні, незважаючи на низку недоліків та загроз.

Проведений SWOT-аналіз дає змогу побудувати зрозуміти та використати усі сильні сторони та можливості ПСМ, розробити систему стратегічних дій щодо удосконалення та усунення усіх недоліків із врахуванням зовнішніх загроз, особливостей системи. На основі SWOT-аналізу розроблено критерії, які забезпечують якість, надійність та ефективність використання інформації в базах знань СППР, враховуючи предметну галузь. Розроблено структуру формалізації процесу прийняття рішення в галузі медичного права на прикладі сурогатного материнства, яку в подальшому планується використати за основу для модуля прийняття рішення в СППР галузі медичного права.

Література

1. Про затвердження Порядку використання допоміжних репродуктивних технологій в Україні : наказ Міністерства охорони здоров'я № 787 від 09.09.2013 // Офіційний вісник України. – 2013. – 82, 446.
2. Melnykova N., Shakhovska N., Sviridova T. The personalized approach in a medical decentralized diagnostic and treatment. In: The 14-th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics Proceedings. Lviv Polytechnic National University (2017).
3. Hovorushchenko T., Herts A., Hnatchuk Ye. Concept of Intelligent Decision Support System in the Legal Regulation of the Surrogate Motherhood, CEUR-WS, vol. 2488, 2019, pp. 57–68.
4. Herts A. Contractual obligations in the field of medical services. FOP Melnyk A. A., Khmelnytskyi (2015).
5. Сімейний кодекс України : 10 січня 2002 р. № 2947 – III // Інформація Верховної Ради України. – 2002. – 21, 135.
6. Dakhno F. Surrogate motherhood. Female doctor. 3, 27–31 (2007).
7. Ермакова С. Э. Формирование и развитие процессноориентированного управления в медицинских организациях : автореф. дис. ... д.э.н. / С. Э. Ермакова. – Москва, 2011. – 32 с.
8. Результаты самостоятельной оценки служб общественного здравоохранения в Республике Узбекистан : технический отчет / Европейское бюро ВОЗ. – Ташкент, 2011. – 67 с.
9. Таова С. М. Человеческий потенциал сферы здравоохранения: формирование, распределение, инструменты развития : автореф. дис. ... к.э.н. / С. М. Таова. – Майкоп, 2015. – 31 с.
10. SWOT-аналіз – основа формування маркетингових стратегій : [навч. посіб.] / за ред. Л. В. Балабанової. – [2-е вид., випр. і доп.]. – К. : Знання, 2005. – 185 с.

References

1. Pro zatverdzhennia Poriadku vykorystannia dopomizhnykh reproduktyvnykh tekhnolohii v Ukraini : nakaz Ministerstva okhorony zdorovia № 787 vid 09.09.2013 // Ofitsiyniy visnyk Ukrainy. – 2013. – 82, 446.
2. Melnykova N., Shakhovska N., Sviridova T. The personalized approach in a medical decentralized diagnostic and treatment. In: The 14-th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics Proceedings. Lviv Polytechnic National University (2017).
3. Hovorushchenko T., Herts A., Hnatchuk Ye. Concept of Intelligent Decision Support System in the Legal Regulation of the Surrogate Motherhood, CEUR-WS, vol. 2488, 2019, pp. 57–68.
4. Herts A. Contractual obligations in the field of medical services. FOP Melnyk A. A., Khmelnytskyi (2015).
5. Simeyniy kodeks Ukrainy : 10 sichnia 2002 r. № 2947 – III // Informatsiia Verkhovnoi Rady Ukrainy. – 2002. – 21, 135.
6. Dakhno F. Surrogate motherhood. Female doctor. 3, 27–31 (2007).
7. Ermakova S. E. Formirovanie i razvitie processnoorientirovannogo upravleniya v medicinskih organizatsiyah : avtoref. dis. ... d.e.n. / S. E. Ermakova. – Moskva, 2011. – 32 s.
8. Rezultaty samostoyatel'noy ocenki sluzhb obshestvennogo zdavoohraneniya v Respublike Uzbekistan : tehicheskij otchet / Evropejskoe byuro VOZ. – Tashkent, 2011. – 67 s.
9. Taova S. M. Chelovecheskij potencial sfery zdavoohraneniya: formirovanie, raspredelenie, instrumenty razvitiya : avtoref. dis. ... k.e.n. / S. M. Taova. – Majkop, 2015. – 31 s.
10. SWOT-analiz – osnova formuvannia marketynhovykh stratehii : [navch. posib.] / za red. L. V. Balabanovoi. – [2-e vyd., vypr. i dop.]. – K. : Znannia, 2005. – 185 s.

Надійшла / Paper received: 24.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020

УДК 004.031.42: 004.383.8: 004.896
DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-4

Т. О. ГОВОРУЩЕНКО, М. В. КРАСОВСЬКИЙ,
А. В. ГОРОШКО, А. А. ЯВНЮК
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЬ ТА АЛГОРИТМ РУХУ КРОКУЮЧОЇ ПЛАТФОРМИ У БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІЙ КООПЕРАТИВНІЙ РОБОТОТЕХНІЧНІЙ СИСТЕМІ

Проведений аналіз відомих методів та рішень в галузі кооперативної робототехніки свідчить про те, що при чималій кількості ефективних рішень наразі в галузі залишається ряд невіршених питань, зокрема, рух крокуючої платформи. В статті розроблено модель руху крокуючої платформи в пакеті MATLAB Simulink, спроектовано апаратну і програмну архітектуру майбутньої роботизованої системи, проведено розподіл обчислювальних ресурсів програм керування та побудовано блок-схему, що визначає загальний алгоритм дій крокуючої платформи. Описано основні елементи розробленої системи та побудовано структурну схему, що відображає основні зв'язки та взаємодії між компонентами системи.

Ключові слова: кооперативний робот, багатофункціональна кооперативна робототехнічна система, крокуюча платформа.

T. HOVORUSHCHENKO, M. KRASOVSKYI, A. GOROSHKO, A. YAVNYUK
Khmelnytskyi National University

MODEL AND ALGORITHM OF THE WALKING (STEPPING) PLATFORM MOVING IN THE MULTI-FUNCTIONAL COOPERATIVE ROBOTIC SYSTEM

The analysis of known methods and solutions in the field of cooperative robotics shows that with a large number of effective solutions, there are still a number of unresolved issues in the industry, in particular, the movement of the walking (stepping) platform, which is the purpose of this study. Cooperative robotics is a new branch of industrial robotics that enables joint production. Cooperative production largely depends on the availability of cooperative robot. The cooperative robot must meet the requirements of International Standards, the main of which is the standard ISO/TS 15066: 2016. The creation of cooperative robots that work in close contact with humans is a direction that is rapidly developing. Cooperative application, natural for such tasks, should provide absolute safety, high functional flexibility and autonomy of the robots used. This requires the development of new technologies in the field of management, the creation of new design solutions, the development of algorithms for planning and execution of movements that ensure the safety of physical interaction between man and robot. Given that the market for cooperative robots is projected to reach \$ 12,303 million by 2025 from \$ 710 million in 2018, i.e. will increase by 50.31% during 2018-2025, the urgent task now is to develop a multifunctional cooperative robotic system or technology. The paper develops a model of the walking (stepping) platform movement in the MATLAB Simulink, designed the hardware and software architecture of the future robotic system, allocated computing resources of control programs and built a block diagram that defines the general algorithm of the walking platform. The main elements of the developed system are described and a structural diagram is constructed, which reflects the main connections and interactions between the components of the system.

Keywords: cooperative robot, multifunctional cooperative robotic system, walking (stepping) platform.

Вступ. Кооперативна робототехніка значною мірою залежить від наявності кооперативного (колективного, колаборативного) робота (кобота). Кооперативний робот – це варіант промислового робота, оснащеного системою сенсорів та комп'ютерного зору, що дозволяє з високим ступенем ймовірності попереджати зіткнення пристрою з людиною та перешкодами, включаючи ситуацію збою вбудованого програмного забезпечення [1]. Основна задача кооперативних роботів – допомогти розв'язати складні задачі, які неможливо автоматизувати. Кооперативний робот змінює поняття автоматизації від повністю автоматизованих операцій до напівавтономних операцій, де рішення працівника впливатимуть на дії кобота і навпаки [2].

Кооперативний робот повинен задовольняти вимогам Міжнародних стандартів, основним з яких є стандарт ISO/TS 15066:2016 [3], який є фактично технічною специфікацією, зокрема, вимог безпеки для коботів, для сумісної роботи промислових робототехнічних систем та робочого середовища.

Ринок кооперативних роботів прогнозовано досягне 12303 млн дол. США до 2025 р. з 710 млн дол. США у 2018 р., тобто зростає на 50,31 % протягом 2018–2025 років [4], відтак актуальною задачею наразі є розроблення багатофункціональної кооперативної робототехнічної системи або технології.

Аналіз літератури на предмет пошуку відомих методів та рішень для галузі кооперативної робототехніки був проведений авторами у [5]. Проведений аналіз відомих методів та рішень в галузі кооперативної робототехніки свідчить про те, що наразі все ж залишається велика кількість невіршених питань в цій галузі, зокрема, рух крокуючої платформи, що і є метою даного дослідження.

Створенням крокуючих машин і управлінням їх рухом займаються багато наукових колективів з усього світу [6]. Великий інтерес до цього напрямку дослідження пояснюється тим, що в порівнянні з традиційними методами переміщення (колісними, гусеничними), крокуючі системи володіють кращими характеристиками адаптації до опорної поверхні, а відповідно і більшою прохідністю. Адже, використання крокуючого методу пересування дає великий вибір налаштувань додаткових параметрів, таких як довжина кроку, висота корпусу відносно опорної поверхні та швидкість пересування. Оскільки система побудована за ієрархічним принципом, вона формує єдиний механізм за рахунок створення керуючих сигналів для певної кількості елементарних, незалежно функціонуючих виконуючих механізмів, кожен з яких виконує своє власне завдання і таким чином вносить свій внесок у формування руху [7]. Завдяки незалежним один

від одного опорним механізм, корпус системи може переміщуватися у будь-якому напрямку, уникаючи небезпечних ділянок та постійно змінюючи свої точки опори [8]. В наш час існує безліч розробок та наукових досліджень з даної тематики, але внаслідок того, що цим займаються в більшості комерційні структури, інформація про всі результати та нові технології знаходиться в закритому доступі, що значно ускладнює розвиток та розроблення таких систем. В основі руху більшості крокуючих систем лежить метод, заснований на способі переміщення комах, завдяки високим показникам стійкості руху. В наш час постійно з'являються нові алгоритми руху крокуючих роботів, внаслідок модернізації і комбінування вже існуючих, але в основі будь-якого з них лежить імітування біологічного руху тварин.

Модель руху крокуючої платформи. Для забезпечення рівномірного і прямолінійного руху крокуючої платформи необхідно точно визначити кінцеве положення кожного рухомого сегменту опорного механізму маючи лише його початкові координати. Для цього в програмному пакеті MATLAB Simulink було створено модель руху, в основі якої лежить математичне рівняння вирішення прямої задачі кінематики. Блок-схему, зображену на рис. 1, умовно розділено на групи, кожна з яких відповідає за моделювання і вирішення певної частини задачі.

Група *a* містить усю початкову інформацію для нормальної роботи системи, де S_x та S_y – відстань, на яку потрібно здійснити переміщення опорного механізму відносно осей x та y ; a та b – початкові кути нахилу сервоприводів; l_1, l_2, l_3 – довжини основних сегментів опорного механізму.

Група *b* містить функціональний блок, що відповідає за розрахунок початкової проекції опорного механізму та положення сегменту L_1 .

Група *c* містить функціональний блок, що відповідає за розрахунок проекції висоти опорного механізму і положення сегментів L_2 та L_3 .

Групи *d, e* містять функціональні блоки, які опираючись на попередні результати розрахунків, визначають кінцеві положення кутів сервоприводів *a* та *b*.

Група *f* містить функціональний блок, що відповідає за візуалізацію отриманих розрахунків у вигляді діаграми після завершення моделювання.

Отримана математична модель є спільною для усіх крокуючих систем типу quadruped (конструкція даного типу систем містить чотири точки опори і тому краще пристосована до пересування по нерівномірній поверхні; рух реалізується шляхом почергового переміщення одного з чотирьох опорних механізмів, в той час як три інші підтримують корпус в стабільному положенні [9]; центр ваги після кожного кроку змінюється, але стійкість системи залишається сталою) з двома ступенями свободи опорного механізму. Вона дозволяє встановити максимальну відстань, на яку може зміститися система, не переміщуючи опорного механізму та гранично допустимі кути повороту сервоприводів, а також експериментальним шляхом підібрати основні положення сегментів опорного механізму для його переміщення в задану точку.

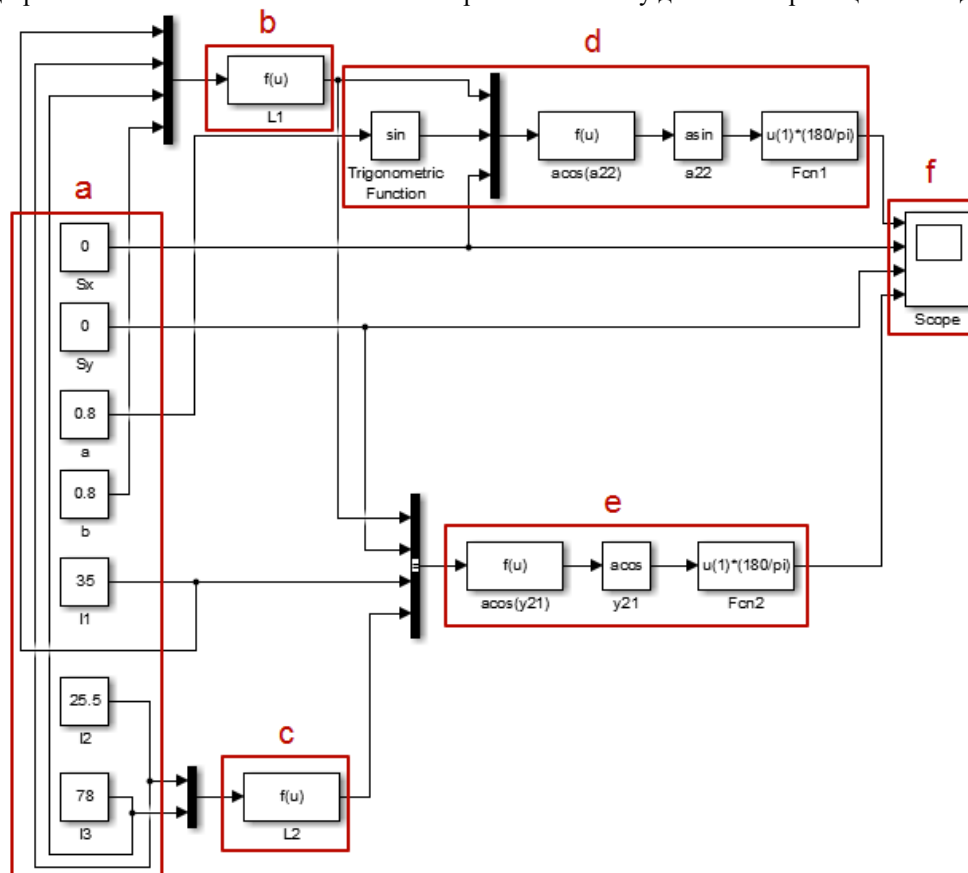


Рис. 1. Модель руху крокуючої платформи в Matlab Simulink

Для перевірки адекватності та достовірності отриманої моделі руху було проведено тестування (рис. 2) з наступними параметрами:

- довжина сегментів: $L1 = 35$, $L2 = 25.5$, $L3 = 78$.
- початкові кути положення: $a = 80^\circ$, $b = 80^\circ$.
- точки переміщення: $S_x = 8$, $S_y = 4$.

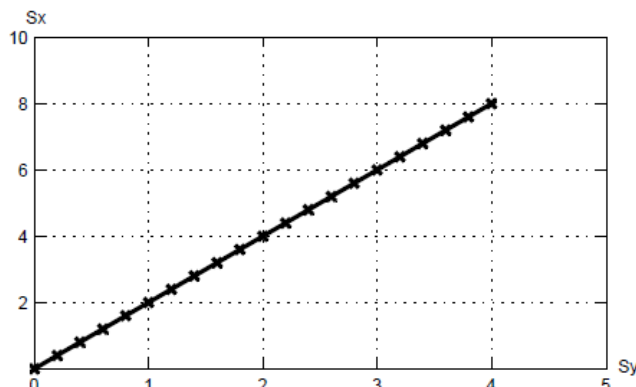


Рис. 2. Результат роботи моделі руху крокуючої платформи

Алгоритм руху крокуючої платформи. Структуру програмного алгоритму крокуючої системи можна умовно розділити на три керуючі рівні:

- перший рівень відповідає за керування сервоприводами та формує діапазон переміщення опорних механізмів.
- другий рівень відповідає за реалізацію руху та само стабілізацію положення корпусу системи в просторі.
- третій рівень визначає алгоритм руху та напрямок в залежності від отриманого керуючого сигналу.

Перший і другий рівні реалізуються автоматично, тоді як третій постійно очікує команди від керуючого пристрою. Послідовність виконання операцій та алгоритм роботи відображає блок-схема (рис. 3).

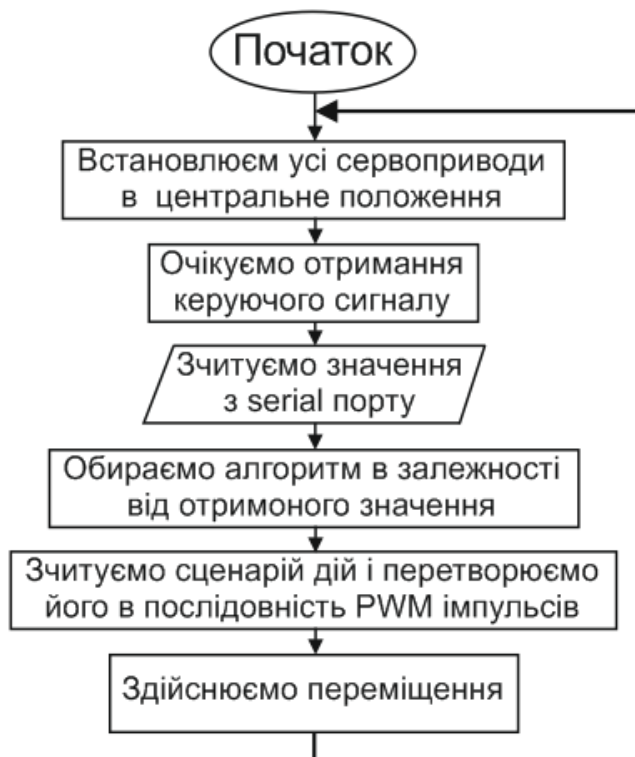


Рис. 3. Блок-схема алгоритму руху крокуючої платформи

Для відображення загальної концепції розробленої системи було побудовано структурну схему (рис. 4). Принцип дії системи наступний: Bluetooth модуль отримує команду від керуючого пристрою і передає її по інтерфейсу UART мікроконтролеру, який залежно від отриманого сигналу виконує певний сценарій дій. Сценарій представляє собою послідовність рухів (кутів повороту) сервоприводів.

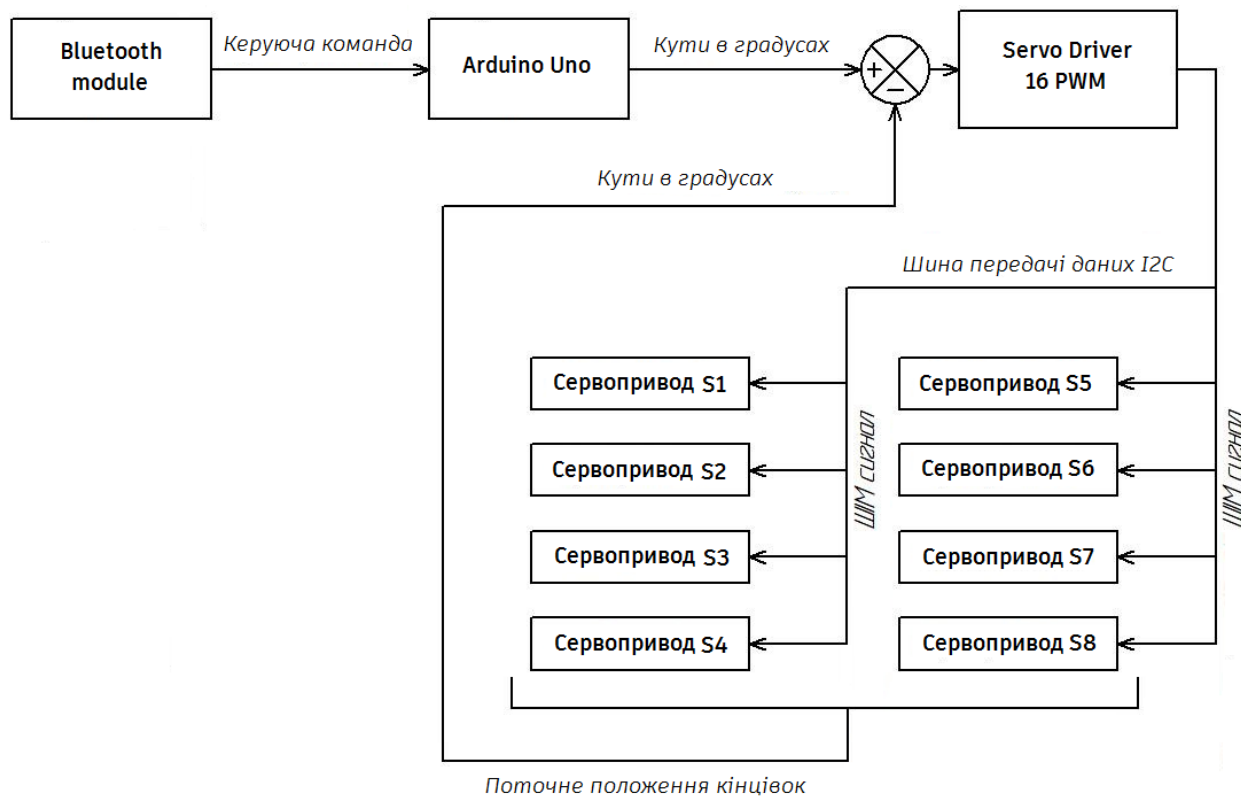


Рис. 4. Структурна схема робота типу quadruped

Головним критерієм якості розроблюваної системи є висновок про її працездатність. У зв'язку з тим, що система складається з великої кількості рухомих частин, дуже складно передбачити заздалегідь їх майбутню поведінку, тому було проведено моделювання трьох основних аспектів: досліджено рух системи вперед, назад, ліворуч, праворуч; досліджено точність переміщення; визначено коефіцієнти запасу міцності та деформації. Для початкового аналізу і тестування алгоритмів руху було використано 3D модель робота quadruped, що розроблена в середовищі програмування Virtual Python.

Висновки. Проведений аналіз відомих методів та рішень в галузі кооперативної робототехніки свідчить про те, що за чималої кількості ефективних рішень наразі в галузі залишається ряд невирішених питань, зокрема, рух крокуючої платформи. В статті розроблено модель руху крокуючої платформи в пакеті MATLAB Simulink, спроектовано апаратну і програмну архітектуру майбутньої роботизованої системи, проведено розподіл обчислювальних ресурсів програм керування та побудовано блок-схему, що визначає загальний алгоритм дій крокуючої платформи. Описано основні елементи розробленої системи та побудовано структурну схему, що відображає основні зв'язки та взаємодії між компонентами системи.

Література

1. Innovation in robotics and safety. URL: <https://controlengrussia.com/innovatsii/innovatsii-v-robototehnike-i-bezopasnost/>.
2. Sadik A. R. Towards a Complex Interaction Scenario in Worker-cobot Reconfigurable Collaborative Manufacturing via Reactive Agent Ontology / S. R. Sadik, B. Urban // The 9-th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management: Proceedings (Madeira, November 1–3, 2017). – Madeira (Portugal), 2017. – P. 27–38.
3. ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots. – [Introduced 01.06.2016]. – Geneva (Switzerland) : ISO, 2016. – 38 p. – (International standard).
4. Collaborative robot market projected to grow at a CAGR of 50.31% from 2018 to 2025. URL: <https://www.reportsnreports.com/reports/650005-collaborative-robots-market-by-payload-up-to-5-kg-up-to-10-kg-above-10-kg-application-industry-and-geography-global-forecast-to-2022.html>.
5. Говорущенко Т.О. Сучасні проблеми багатофункціональних кооперативних робототехнічних систем / Т. О. Говорущенко, М. В. Красовський, В. В. Шамрелюк // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2019. – № 30 (106). – С. 134–146.
6. Бройль Т. В. Встраиваемые робототехнические системы: проектирование и применение мобильных роботов со встроенными системами управления / Т. В. Бройль. – Ижевск : ИКИ, 2012. – 520 с.
7. Мельник А. А. Мобильные роботы компании «К-Team» для решения специфических технических задач / А. А. Мельник, В. Ф. Борисенко, В. Н. Хоменко, П. С. Плис // Вісник Кременчутського державного університету імені Михайла Остроградського. – 2010. – № 4 (63). – С. 36–39.

8. Chavez-Clemente D. Gait Optimization for Multi-legged Walking Robots, with Application to a Lunar Hexapod : Ph.D. Thesis / D. Chavez-Clement. – USA : Stanford University, 2011.

9. Карпенко А. П. Робототехника и системы автоматизированного проектирования : [учебное пособие] / А. П. Карпенко. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 71 с.

References

1. Innovation in robotics and safety. URL: <https://controlengrussia.com/innovatsii/innovatsii-v-robototekhnike-i-bezopasnost/>.
2. Sadik A. R. Towards a Complex Interaction Scenario in Worker-cobot Reconfigurable Collaborative Manufacturing via Reactive Agent Ontology / S. R. Sadik, B. Urban // The 9-th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management: Proceedings (Madeira, November 1–3, 2017). – Madeira (Portugal), 2017. – P. 27–38.
3. ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots. – [Introduced 01.06.2016]. – Geneva (Switzerland) : ISO, 2016. – 38 p. – (International standard).
4. Collaborative robot market projected to grow at a CAGR of 50.31% from 2018 to 2025. URL: <https://www.reportsnreports.com/reports/650005-collaborative-robots-market-by-payload-up-to-5-kg-up-to-10-kg-above-10-kg-application-industry-and-geography-global-forecast-to-2022.html>.
5. Hovorushchenko T.O. Suchasni problemy bahatofunktsionalnykh kooperativnykh robototekhnichnykh system / T.O. Hovorushchenko, M. V. Krasovskyi, V. V. Shamreliuk // Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy. – 2019. – № 30 (106). – S. 134–146.
6. Broiln T. V. Vstrayvaemye robotekhnicheskyye systemy: proektyrovanye y prymerenyye mobyl'nykh robotov so vstroennyyu systemamy upravleniya / T. V. Broil. – Yzhevsk : YKY, 2012. – 520 s.
7. Melnyk A. A. Mobylnyye roboty kompanyy «K-Team» dlia resheniya spetsyfycheskykh tekhnicheskyykh zadach / A. A. Melnyk, V. F. Borysenko, V. N. Khomenko, P. S. Plys // Visnyk Kremenchutskoho derzhavnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho. – 2010. – № 4 (63). – S. 36–39.
8. Chavez-Clemente D. Gait Optimization for Multi-legged Walking Robots, with Application to a Lunar Hexapod : Ph.D. Thesis / D. Chavez-Clement. – USA : Stanford University, 2011.
9. Karpenko A. P. Robototekhnika y systemy avtomatyzirovannoho proektyrovaniya : [uchebnoe posobyie] / A. P. Karpenko. – M. : MHTU im. N.Э. Bauman, 2014. – 71 s.

Надійшла / Paper received: 21.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 02.06.2020

ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРОФІЛІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: ОПЕРАЦІЯ РОЗБИТТЯ СЕМАНТИЧНИХ ТАКСОНОМІЧНИХ СТРУКТУР

Стаття є продовженням серії робіт, пов'язаних з формалізацією представлення профілів програмного забезпечення (ПЗ) та їх перетворення, які є складовими частинами безпосередньо профілювання ПЗ для утворення профілів вимог ПЗ, профілів дефектів ПЗ, профілів метрик ПЗ тощо. У статті пропонується формалізований опис профілювання програмного забезпечення. У статті завдання формалізації профілювання ПЗ вирішується представленням профілю ПЗ як семантичних таксономічних структур (ієрархічних, фасетних або змішаних структур). Такими чином профіль ПЗ складається зі структури (множини таксонів і класифікаційних ознак) та семантичного його наповнення. В статті профіль вимог ПЗ представлений у вигляді ієрархії з семантичним наповненням таксонів і класифікаційних ознак на рівні слів з вимог, де неподільною семантичною одиницею є слово в реченні вимоги. Варто відзначити, що множини елементів множин таксонів і класифікаційних ознак представлені у вигляді кортежів, оскільки для кожного слова є важливим його позиція у реченні.

У рамках процесу профілювання ПЗ та формування профілю ПЗ представляється та формально описується операція розбиття семантичних таксономічних структур. Для реалізації такої операції вводяться окремі типи операції розбиття: розбиття в ширину, розбиття в глибину та змішане розбиття. Також описуються певні умови, при яких такі типи операцій розбиття застосовуватися при профілюванні ПЗ. На відміну від операції об'єднання для опису операції розбиття додатково вводяться наступні множини: семантичних критеріїв вибору, семантичних класифікаційних ознак необхідної семантичної таксономічної структури, семантичних класифікаційних ознак залишкової семантичної таксономічної структури, семантичних таксонів необхідної семантичної таксономічної структури, семантичних таксонів залишкової семантичної таксономічної структури. Для виконання операції розбиття семантичних таксономічних структур докладно описаний алгоритм виконання такої операції.

У роботі графічно представлена і формально описана повна множина варіантів розбиття ієрархічних і фасетних структур – усього 8 варіантів для кожного типу семантичних таксономічних структур.

Ключові слова: профілювання ПЗ, профіль ПЗ, фасетно-ієрархічні структури, розбиття фасетно-ієрархічних структур.

O. GORDIEV

Banking University

PRESENTATION AND TRANSFORMATION OF SOFTWARE PROFILES: OPERATION OF BREAKING SEMANTIC TAXONOMIC STRUCTURES

The article is a continuation of a series of works related to the formalization of the presentation of software profiles and their transformation, which are part of the software profiling to create profiles of software requirements, profiles of software defects, profiles of software metrics, etc. The article offers a formalized description of software profiling. In the article, the problem of formalizing software profiling is solved by presenting the software profile as semantic taxonomic structures (hierarchical, facet or mixed structures). Thus, the software profile consists of a structure (set of taxa and classification features) and its semantic content. In the article the profile of software requirements is presented in the form of a hierarchy with semantic filling of taxa and classification features at the level of words from requirements where the indivisible semantic unit is a word in the sentence of the requirement. It is worth noting that the sets of elements of sets of taxa and classification features are presented in the form of tuples, because for each word is important its position in the sentence.

As part of the process of software profiling and software profile formation, the operation of breaking semantic taxonomic structures is presented and formally described. To implement such an operation, certain types of breaking operations are introduced: breaking in width, breaking in depth and mixed breaking. It also describes certain conditions under which these types of breaking operations are used in software profiling. In contrast to the union operation, the following sets are additionally introduced to describe the split operation: semantic selection criteria, semantic classification features of the required semantic taxonomic structure, semantic classification features of the residual semantic taxonomic structure, semantic taxa of the required semantic taxonomic structure. To perform the operation of breaking semantic taxonomic structures, the algorithm for breaking such an operation is described in detail.

The paper graphically presents and formally describes the full set of options for dividing hierarchical and facet structures - only 8 variants for each type of semantic taxonomic structures.

Key words: software profiling, software profile, facet-hierarchical structures, breaking facet-hierarchical structures.

Постановка проблеми. Розробка програмного забезпечення пов'язана з процесом профілювання. Для більш детального розкриття поняття профілювання ПЗ введемо декілька термінів та їх формулювання. Профілювання ПЗ [1] – це процес формування (вибору та гармонізації) підмножини пов'язаних елементів із загальної множини елементів або з декількох пов'язаних підмножин елементів у загальну множину у вигляді таксономічної структури (ієрархічної, фасетної, фасетно-ієрархічної структури) таких елементів з семантичним змістом, враховуючи критерії вибору (критерії профілювання). Об'єктами профілювання зазвичай є характеристики ПЗ, вимоги ПЗ, ризики розробки ПЗ, тести ПЗ, дефекти ПЗ, техніки верифікації ПЗ, метрики оцінки ПЗ. Профіль ПЗ [1] – це результат (продукт) профілювання, який представляється у вигляді пов'язаної таксономічної структури (ієрархічної, фасетної, фасетно-ієрархічної структури) елементів з семантичним змістом. Профілі ПЗ можуть бути наступними: профіль характеристик ПЗ, профіль вимог ПЗ, профіль ризиків ПЗ, профіль тестів ПЗ, профіль дефектів ПЗ, профіль технік верифікації, профіль

метрику оцінювання ПЗ. Профіль характеристики, вимог та ризиків ПЗ утворюється та коригується замовниками та керівником групи розробників ПЗ, профіль тестів, дефектів та метрик оцінювання ПЗ зазвичай формується тестувальниками ПЗ або керівником групи забезпечення якості. Тобто роботи по профілюванню ПЗ виконуються аналітично зазначеними відповідними виконавцями, яких можна віднести до групи експертів з профілювання ПЗ. Така діяльність потребує від експертів відповідного досвіду, знань та зосередженості. Якщо така діяльність виконується експертом безпосередньо вручну та не підтримується засобами автоматизації, це підвищує ризик виникнення помилок. Першим етапом для автоматизації процесу профілювання ПЗ є його формалізація як процесу профілювання ПЗ, так і самого профілю ПЗ.

Аналіз останніх джерел. Аналіз існуючих робіт, у яких розглядаються проблеми представлення профілів ПЗ та профілювання в цілому дозволив розподілити такі роботи на наступні групи:

– до першої групи входять роботи, у яких представлена і описана проблема формалізації представлення профілів ПЗ [2-8] та профілювання ПЗ. Автори у цих дослідженнях не пропонують варіанти підходів до профілювання ПЗ;

– до другої групи відносяться роботи, автори яких розглядають профілювання ПЗ тільки на рівні таксономічних фасетно-ієрархічних структур [9–13]. У цих роботах не розглядається семантичне наповнення таксономічних структур;

– третя група робіт, у яких представлені елементи формального представлення у вигляді операції об'єднання, що не є повним описом перетворення профілів ПЗ у вигляді семантичних таксономічних структур [14].

У зв'язку з цим **метою роботи** є формалізований опис операції розбиття семантичних таксономічних структур для перетворення профілів програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу

Формальний опис семантичної таксономічної структури. Кожна семантична таксономічна структура [8] складається з семантичних класифікаційних ознак та семантичних таксонів. У фізичному вигляді це послідовність пов'язаних між собою слів в єдиний осмислений текст. Таким чином елементами семантичного наповнення є окремі слова у реченні (іменники, прикметники, дієслова) без урахування прийменників, займенників тощо. Тобто слово буде неподільним елементом для опису семантичного змісту таксонів та класифікаційних ознак. Зазначимо, що послідовність семантичних елементів (послідовність слів у реченні) є важливою і при їх описі повинна бути врахована. У зв'язку з цим таксономічні семантичні структури можуть бути описані у вигляді двох наступних кортежів:

$$STE_{tts(index),i} = \left\langle ste_{tts(index),j} \right\rangle_{j=1}^n,$$

де STE – кортеж елементів семантичного таксона (Semantic Taxon Elements), tts – тип таксономічної структури (type of taxonomic structure), i – номер таксономічної структури;

$$SCFE_{tts(index),i} = \left\langle scfe_{tts(index),j} \right\rangle_{j=1}^n,$$

де $SCFE$ – кортеж елементів семантичної класифікаційної ознаки (Semantic Classification Feature Elements), tts – тип таксономічної структури (type of taxonomic structure), i – номер таксономічної структури;

Графічно перетворення тексту вимоги в семантичний таксон та в класифікаційну ознаку представлені на рис. 1 та рис. 2, відповідно. Представимо елементи семантичного таксона (1) і семантичної класифікаційної ознаки (2) у вигляді множин (кортежів).

$$STE_{F(1),1} = \left\langle \begin{matrix} ste_{F(1),1}, ste_{F(1),2}, ste_{F(1),3}, ste_{F(1),4}, ste_{F(1),5}, \\ ste_{F(1),6}, ste_{F(1),7}, ste_{F(1),8}, ste_{F(1),9}, ste_{F(1),10}, \\ ste_{F(1),11}, ste_{F(1),12}, ste_{F(1),13}, ste_{F(1),14}, ste_{F(1),15}, \\ ste_{F(1),16}, ste_{F(1),17} \end{matrix} \right\rangle, \quad (1)$$

$$SCFE_{F(1),1} = \left\langle \begin{matrix} scfe_{F(1),1}, scfe_{F(1),2}, scfe_{F(1),3}, scfe_{F(1),4}, scfe_{F(1),5}, \\ scfe_{F(1),6}, scfe_{F(1),7}, scfe_{F(1),8}, scfe_{F(1),9}, scfe_{F(1),10}, \\ scfe_{F(1),11}, scfe_{F(1),12}, scfe_{F(1),13}, scfe_{F(1),14}, scfe_{F(1),15} \end{matrix} \right\rangle. \quad (2)$$

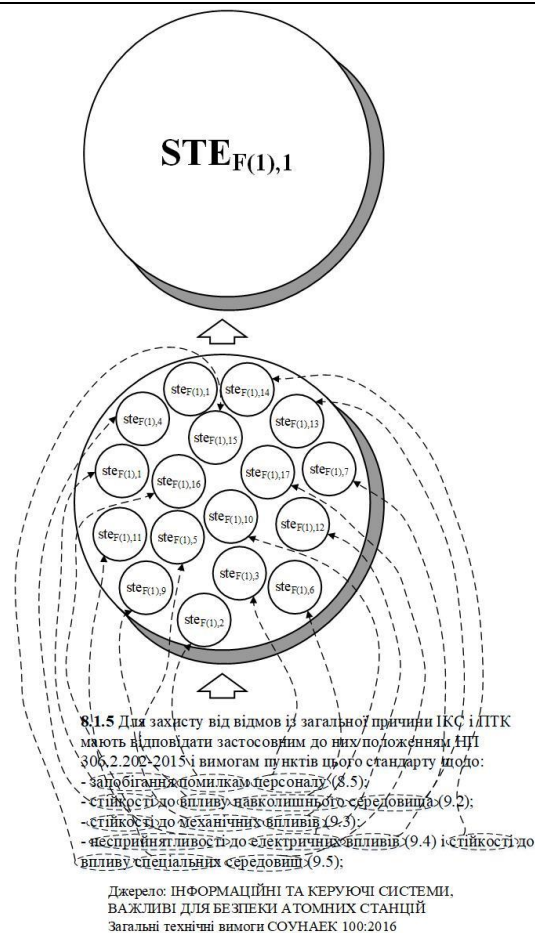


Рис. 1. Схематичне представлення перетворення тексту вимоги в семантичний таксон

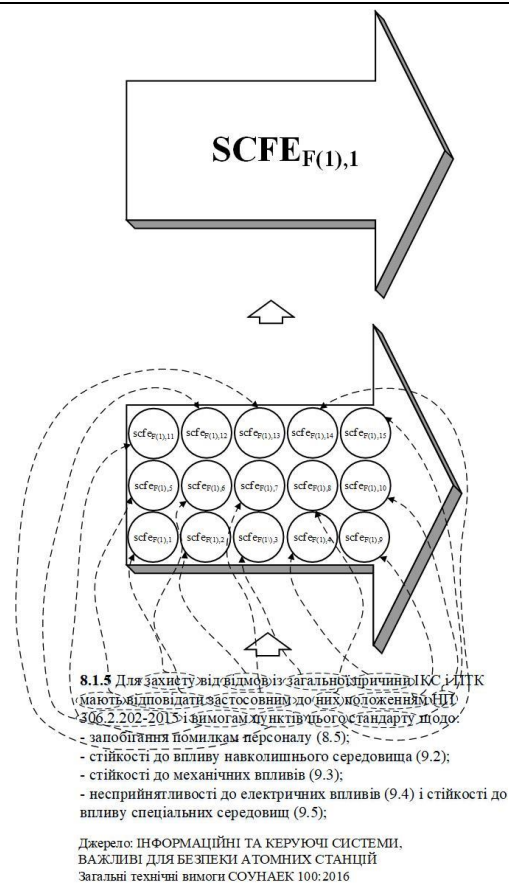


Рис. 2. Схематичне представлення тексту класифікаційної вимоги у семантичну класифікаційну ознаку

Розглянемо операцію розбиття семантичних таксономічних структур. Для цього введемо додаткові елементи операції розбиття, множину критеріїв вибору і типи множин елементів семантичної таксономічної структури, які формуються при розбитті семантичних таксономічних структур:

- $\overrightarrow{\downarrow}$ – розбиття семантичних таксономічних структур в ширину;
- $\downarrow$ – розбиття семантичних таксономічних структур в глибину;
- $\overrightarrow{\downarrow}$ – змішане розбиття семантичних таксономічних структур;

- $SSC_{tts(index)}$ – множина семантичних критеріїв вибору (semantic selection criteria), tts – тип таксономічної структури, $index$ – номер таксономічної структури;

- $SCF_{tts(index),prof}$ – множина семантичних класифікаційних ознак (semantic classification feature elements) необхідної семантичної таксономічної структури, tts – тип таксономічної структури (type of taxonomic structure), i – номер таксономічної структури, $prof$ – індекс необхідної (profile forming) семантичної таксономічної структури;

- $SCF_{tts(index),res}$ – множина семантичних класифікаційних ознак (semantic classification feature elements) залишкової семантичної таксономічної структури, tts – тип таксономічної структури (type of taxonomic structure), i – номер таксономічної структури, res – індекс залишкової (residual) семантичної таксономічної структури;

- $ST_{tts(i),prof}$ – множина семантичних таксонів (semantic taxon elements) необхідної семантичної таксономічної структури, tts – тип таксономічної структури (type of taxonomic structure), i – номер таксономічної структури, $prof$ – індекс необхідної (profile forming) семантичної таксономічної структури;

- $ST_{tts(i),res}$ – множина семантичних таксонів (semantic taxon elements) залишкової семантичної таксономічної структури, tts – тип таксономічної структури (type of taxonomic structure), i – номер таксономічної структури, res – індекс залишкової (residual) семантичної таксономічної структури.

Варто підкреслити, що необхідна семантична структура і профілеутворююча семантична таксономічна структура є поняттями еквівалентними.

Також відзначимо, що для використання елементів операції розбиття для ієрархічних і фасетних структур повинні виконуватися наступні умови:

– для розбиття в ширину ($\vec{\searrow}$):

$$|SCF_{H(F)(1),prof}| + |SCF_{H(F)(1),res}| = |SCF_{H(F)(1)}|;$$

– для розбиття в глибину ($\searrow \downarrow$):

$$|SCF_{H(F)(1),prof}| = |SCF_{H(F)(1),res}| = |SCF_{H(F)(1)}|;$$

– для змішаного розбиття ($\vec{\searrow} \downarrow$):

$$\begin{cases} |SCF_{H(F)(1),prof}| + |SCF_{H(F)(1),res}| > |SCF_{H(F)(1)}| \\ ST_{H(F)(1),prof} = (ST_{H(F)(1)} \vec{\searrow} ST_{H(1)(F),res}) \cup (ST_{H(F)(1)} \searrow \downarrow ST_{H(F)(1),res}) \end{cases};$$

– для розбиття у фасетно-ієрархічну структуру ($\searrow_{FHS}$):

$$\begin{cases} |SCF_{H(F)(1),prof}| + |SCF_{H(F)(1),res}| > |SCF_{H(F)(1)}| \\ ST_{H(F)(1),prof} = ST_{H(F)(1),prof1} \cup ST_{H(F)(1),prof2} \\ ST_{H(F)(1),prof1} \cap ST_{H(F)(1),prof2} = \emptyset \end{cases}$$

Розглянемо більш детально варіанти розбиття ієрархічних і фасетних структур. Перш за все для цього у графічному вигляді представимо варіанти розбиття для семантичних таксономічних структур у вигляді ієрархій (рис. 3) і формалізований опис таких варіантів (табл. 1). Відзначимо, що позначення рисунків (рис. 3, а–з) і формалізованого опису (табл. 1, а–з) варіантів розбиття збігаються.

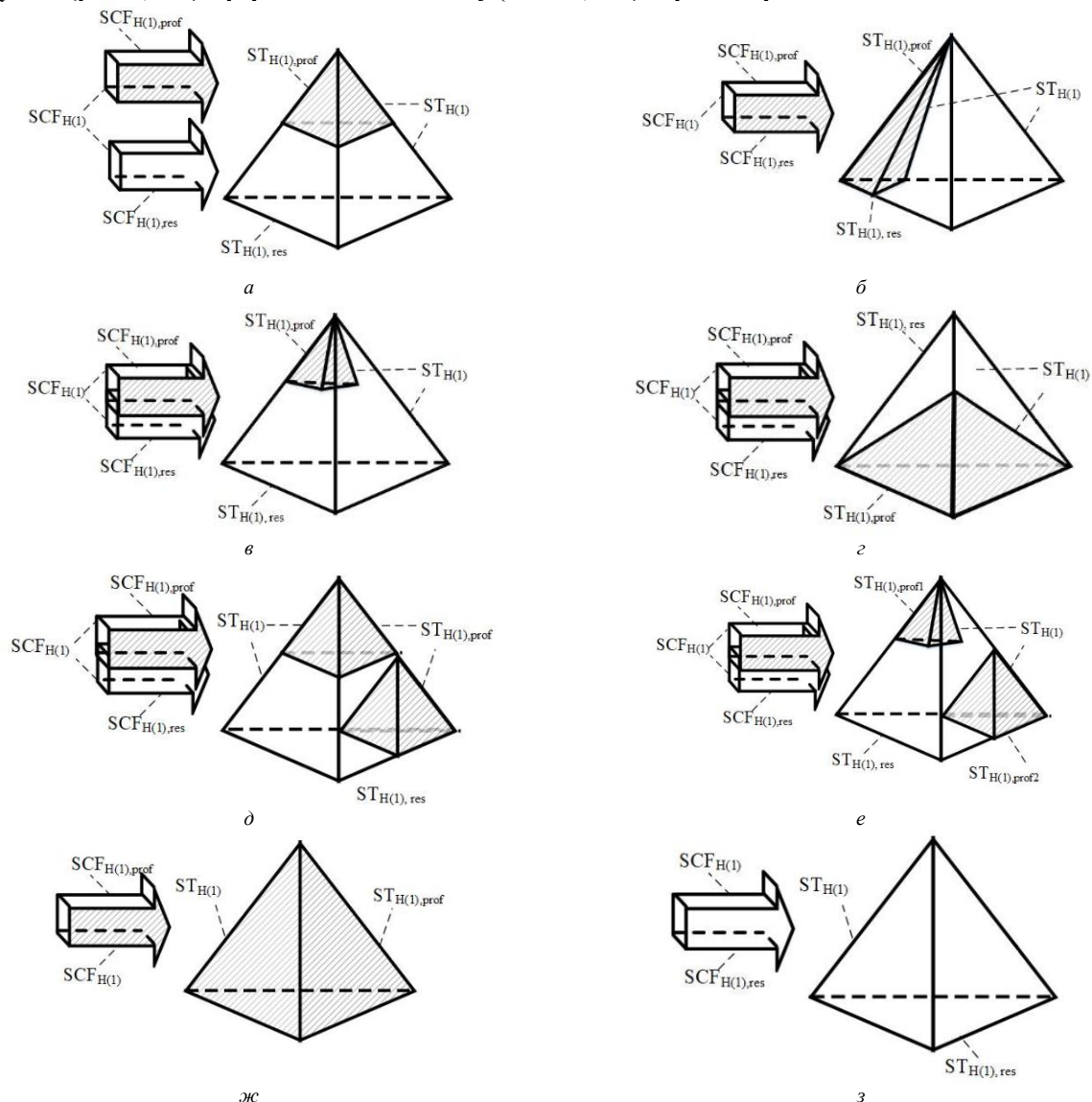


Рис. 3. Графічне представлення варіантів розбиття ієрархічних структур

Таблиця 1

Формалізований опис варіантів розбиття семантичних таксономічних структур у вигляді ієрархій

$\begin{cases} SCF_{H(1),res} \setminus SCF_{H(1),prof} \\ SCF_{H(1),prof} \cap SCF_{H(1),res} = \emptyset \\ ST_{H(1),prof} = ST_{H(1)} \setminus \downarrow ST_{H(1),res} \end{cases}$	$\begin{cases} SCF_{H(1)} = SCF_{H(1),prof} = SCF_{H(1),res} \\ ST_{H(1),prof} = ST_{H(1)} \setminus \downarrow ST_{H(1),res} \end{cases}$	$\begin{cases} SCF_{H(1),res} \setminus SCF_{H(1),prof} \\ SCF_{H(1),prof} \cap SCF_{H(1),res} \neq \emptyset \\ ST_{H(1),prof} = ST_{H(1)} \setminus \downarrow ST_{H(1),res} \\ ST_{H(1),prof} < ST_{H(1),res} \end{cases}$
$\begin{cases} SCF_{H(1),res} \setminus SCF_{H(1),prof} \\ SCF_{H(1),prof} \cap SCF_{H(1),res} \neq \emptyset \\ ST_{H(1),prof} = ST_{H(1)} \setminus \downarrow ST_{H(1),res} \\ ST_{H(1),prof} = ST_{H(1),res} \end{cases}$ <i>a</i>	$\begin{cases} SCF_{H(1),res} \setminus SCF_{H(1),prof} \\ SCF_{H(1),prof} \cap SCF_{H(1),res} \neq \emptyset \\ ST_{H(1),prof} = ST_{H(1)} \setminus \downarrow ST_{H(1),res} \\ ST_{H(1),prof} > ST_{H(1),res} \end{cases}$ <i>б</i>	$\begin{cases} SCF_{H(1),res} \setminus SCF_{H(1),prof} \\ SCF_{H(1),prof} \cap SCF_{H(1),res} \neq \emptyset \\ ST_{H(1),prof} = ST_{H(1)} \setminus_{FHS} ST_{H(1),res} \end{cases}$ <i>в</i>
$\begin{cases} SCF_{H(1),prof} = SCF_{H(1)} \\ SCF_{H(1),res} = \emptyset \\ ST_{H(1),prof} = ST_{H(1)} \\ ST_{H(1),res} = \emptyset \end{cases}$ <i>г</i>	$\begin{cases} SCF_{H(1),res} = SCF_{H(1)} \\ SCF_{H(1),prof} = \emptyset \\ ST_{H(1),res} = ST_{H(1)} \\ ST_{H(1),prof} = \emptyset \end{cases}$ <i>д</i>	$\begin{cases} SCF_{H(1),res} = SCF_{H(1)} \\ SCF_{H(1),prof} = \emptyset \\ ST_{H(1),res} = ST_{H(1)} \\ ST_{H(1),prof} = \emptyset \end{cases}$ <i>е</i>
<i>ж</i>		<i>з</i>

Далі в графічному вигляді представимо варіанти розбиття для семантичних ієрархічних таксономічних структур (рис. 4) і формалізований опис таких варіантів (табл. 2). Відзначимо, що позначення рисунків (рис. 4, *a–з*) і формалізованого опису (табл. 2, *a–з*) варіантів розбиття збігаються.

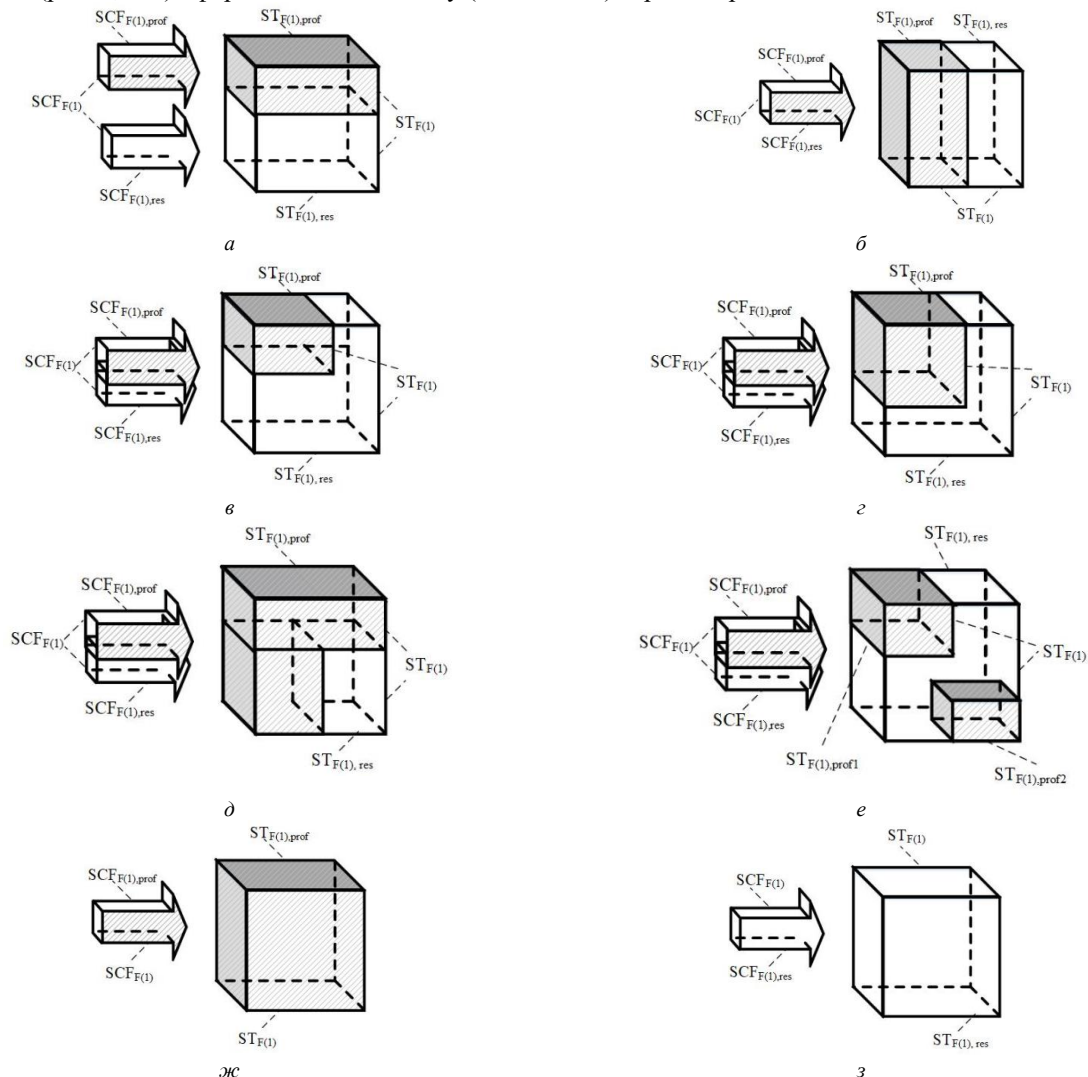
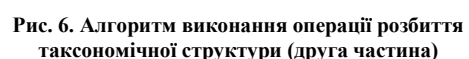


Рис. 4. Графічне представлення варіантів розбиття фасетних структур

Формалізований опис варіантів розбиття семантичних таксономічних структур у вигляді ієрархій

Зобразимо алгоритм виконання операції розбиття для таксономічних семантичних структур (рис. 5, 6).



Він заснований на пошуку відповідності між елементами семантичної таксономічної структури (між класифікаційними ознаками і таксонами) і семантичними критеріями вибору у вигляді семантичних індексів і семантичного змісту. Семантичний індекс таксономічної структури – найбільш важлива частина семантичного змісту, яка в максимально стислому вигляді однозначно семантично представляє елемент семантичних таксономічних структур. Семантичний зміст таксономічних структур – докладний семантичний опис кожного елемента семантичної таксономічної структури.

Слід зазначити, що алгоритм враховує тип семантичної таксономічної структури – ієрархічні і фасетні структури, включає елементи верифікації формалізованого опису семантичної таксономічної структури і профілеутворюючої семантичної таксономічної структури.

Висновки. У статті пропонується докладний опис однієї з двох операцій для профілювання ПЗ, а саме операція розбиття семантичних таксономічних структур. Така операція дозволяє створювати окремий профіль ПЗ із загального у вигляді необхідної семантичної таксономічної структури. Операція виконується відповідно до представленого відповідного алгоритму. Варто зазначити, що в статті представлена повна множина варіантів розбиття семантичних таксономічних структур у вигляді графічного і формального опису. Надалі планується представити й описати реальний приклад застосування операції розбиття та об'єднання семантичних таксономічних структур для профілювання вимог ПЗ.

Література

1. Watts H. The software quality profile / H. Watts, T. Daughtrey // *Fundamental Concepts for the Software Quality Engineer*, American Society for Quality (ASQ). – 2001, pp. 3–17.
2. Андрашов А.А. Анализ моделей представления требований к программному обеспечению при их профилировании / А.А. Андрашов, Ю.А. Кременчукский, В.С. Харченко // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – № 7(41). – С. 186–191.
3. Yu Chen Zhen. Formalisation of product requirements: From natural language descriptions to formal specifications / Zhen Yu Chen, Shengji Yao, Jian Qiang Lin, Yong Zeng, Armin Eberlein // *International Journal of Manufacturing Research (IJMR)*. – 2007. – Vol. 2, No. 3. – pp. 362–387.
4. Шостак И. В. Подход к автоматизации процесса формирования нормативного профиля при сертификации программных продуктов / И. В. Шостак, Ю. И. Бутенко // *Системы обработки информации*. – 2010. – № 8 (89). – С. 122–126.
5. Андрашов А.А. Таксономические модели профилирования требований информационно-управляющих систем критического применения / А.А. Андрашов // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 7(48). – С. 104–108.
6. Андрашов А.А. Фасетно-иерархические семантические структуры в задачах обеспечения качества программного обеспечения / А.А. Андрашов // *Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні «ІКТМ-2008»: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф, м. Харків*. – 2008. – Т.2. – С. 204.
7. Гордеев О.О. Фасетно-ієрархічні структури у задачах оцінки якості програмного забезпечення / О.О. Гордеев, В.С. Харченко // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. – 2005. – № 3. – С. 190–196.
8. Гордеев О.О. Формалізоване представлення профілів програмного забезпечення: семантичні таксономічні структури / О.О. Гордеев, А.Л. Лапшин // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2020. – № 2 (283). – С. 51–57.
9. Гордеев А.А. Профилирование дефектов и требований ПО с использованием операций над таксономическими структурами / А.А. Гордеев // *Міжнар. наук.-техн. конф. «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» (ІКТМ-2005)*. – Харків: НАКУ «ХАІ». – 2005. – С. 364.
10. Бутенко Ю.И. Онтологическая модель формирования нормативного профиля для сертификации систем критического применения / Ю. И. Бутенко // *Сучасні напрямки інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тез. доп. Першої наук.-техн. конф. Харків*. – 2010. – С. 40.
11. Шостак И.В. Знаниеориентированные методы формирования нормативных профилей к системам критического применения на основе онтологий / И.В. Шостак, Ю.И. Бутенко, Е.И. Шостак // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – №5. – С. 104–108.
12. Шостак И.В. Классификационная модель текстов нормативной базы при экспертировании программного обеспечения / И.В. Шостак, Ю.И. Бутенко // *II Всеукраїнська науково-практична конференція «Інтелектуальні системи та прикладна лінгвістика»*, 28 березня, м. Харків. – 2013. – С. 20–23.
13. Bruel J.-M. The role of formalism in system requirements // J.-M. Bruel, S. Ebersold, F. Galinier, M. Mazzara, A. Naumchev. – 2020. – 46 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://arxiv.org/pdf/1911.02564.pdf>
14. Гордеев О.О. Модель структурно-семантического представления та перетворення профілів програмного забезпечення: операція об'єднання / О.О. Гордеев, А.Л. Лапшин // *Системи та технології*. – 2020. – № 1 (59/1). – С. 72–100.

References

1. Watts H. The software quality profile / H. Watts, T. Daughtrey // *Fundamental Concepts for the Software Quality Engineer*, American Society for Quality (ASQ). – 2001, pp. 3–17.
2. Andrashov A.A. Analiz modeley predstavleniya trebovaniy k programnomu obespecheniyu pri ikh profilirovaniy / A.A. Andrashov, YU.A. Kremenchutskiy, V.S. Kharchenko // *Radioyelektronni i komp'yuterni sistemi*. – 2009. – № 7 (41). – pp. 186–191.

3. Chen Zhen Yu. Formalisation of product requirements: From natural language descriptions to formal specifications / Zhen Yu Chen, Shengji Yao, Jian Qiang Lin, Yong Zeng, Armin Eberlein // *International Journal of Manufacturing Research (IJMR)*. – 2007. – Vol. 2, No. 3. – pp. 362–387.
4. Shostak I. V. Podkhod k avtomatizatsii protsessa formirovaniya normativnogo profilya pri sertifikatsii programmnykh produktov. V. Shostak, YU. I. Butenko // *Sistemy obrobki informatsii*. – 2010. – № 8 (89). – pp. 122–126.
5. Andrashov A.A. Taksonomicheskiye modeli profilirovaniya trebovaniy informatsionno-upravlyayushchikh sistem kriticheskogo primeneniya / A.A. Andrashov // *Radioelektronni i komp'yuterni sistemi*. – 2010. – № 7 (48). – pp. 104–108.
6. Andrashov A.A. Fasetno-iyerarhicheskiye semanticheskkiye struktury v zadachakh obespecheniya kachestva programmno obespecheniya / A.A. Andrashov // *Integrirovannyye tekhnologii v mashinostroyenii «IKTM-2008»*: mater. Mizhnar. nauk.-tekhn. konf, m. Kharkiv. – 2008. – T.2. – p. 204.
7. Gordieiev O.O. Fasetno - iyerarkhicheskiye struktury v zadachakh otsenki kachestva programmno obespecheniya / O.O. Gordieiev, V. S. Kharchenko // *Informatsionnyye tekhnologii i komp'yuternaya inzheneriya*. – 2005. – №3. – pp. 190–196.
8. Gordeyev A.A. Formalizovannoye predstavleniye profiley programmno obespecheniya: semanticheskkiye taksonomicheskiye struktury / A.A. Gordeyev, A.L. Lapshin // *Vestnik Khmel'nitskogo natsional'nogo universiteta*. – 2020. – №2, (283). – pp. 51–57.
9. Gordeyev A.A. Profilirovaniye defektov i trebovaniy PO s vnedreniyem operatsiy nad taksonomicheskimi strukturami / A.A. Gordeyev // *Mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. «Integrirovannyye komp'yuternyye tekhnologii v mashinostroyenii» (IKTM-2005)*. – Khar'kov: NAKU «KHAU». – 2005. – pp. 364.
10. Butenko YU. I. Ontologicheskaya model formirovaniya normativnogo profilya dlya sertifikatsii sistem kriticheskogo primeneniya / YU. I. Butenko // *Sovremennyye napravleniya informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy i sredstv upravleniya: tez. dop. Pervoy nauchno-tekhn. konf. Khar'kov*. – 2010. – p. 40.
11. Shostak I.V. Znaniyeoriyentirovannyye metody formirovaniya normativnykh profiley k sistemam kriticheskogo primeneniya na osnove ontologiy / I.V. Shostak, YU.I. Butenko, Ye.I. Shostak // *Radioelektronnyye i komp'yuternyye sistemy*. – 2010. – №5. – pp. 104–108.
12. Shostak I. V. Klassifikatsionnaya model' tekstov normativnoy bazy pri ekspertirovaniya programmno obespecheniya / I.V. Shostak, YU.I. Butenko // *I i Vseukrainskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Intellectual'nyye sistemy i prikladnaya lingvistika»*, 28 marta, m. Kharkiv. – 2013. – pp. 20–23.
13. Bruel J.-M.. The role of formalism in system requirements // J.-M. Bruel, S. Ebersold, F. Galinier, M. Mazzara, A. Naumchev. – 2020. – 46 p. [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <https://arxiv.org/pdf/1911.02564.pdf>
14. Gordeyev A.A. Model' strukturno-semanticheskogo predstavleniya i preobrazovaniya profiley programmno obespecheniya: operatsiya ob'yedineniya / A.A. Gordeyev, A.L. Lapshin // *Sistemy i tekhnologii*. – 2020. – № 1 (59/1). – pp. 72–100.

Надійшла / Paper received: 04.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 02.06.2020

МЕТОД ТА ЗАСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ БОТ-МЕРЕЖ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ТЕХНОЛОГІЮ «ПОТІК ДОМЕНІВ»

У роботі представлено метод ідентифікації бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів». Метод дозволяє виявляти як відомі, так і нові невідомі раніше загрози на основі комплексного аналізу DNS-трафіку. Даний метод поєднує в собі опрацювання збоїв у DNS-запитах, використання частотного лексичного аналізу доменних імен та аналіз множини ознак отриманих з DNS-повідомлень за допомогою алгоритму машинного навчання Random Forest, що дозволяє підвищити ефективність та достовірність виявлення даного типу бот-мереж, а також дає змогу виявляти атаки на ранніх стадіях або навіть до їх виникнення. Запропонований метод може бути основою для побудови програмного забезпечення систем виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів».

Ключові слова: бот-мережа, потік доменів, шкідливе програмне забезпечення, Random Forest, DNS.

S. LYSENKO, V. KOMAROV

Khmelnitskyi National University

METHOD AND SOFTWARE FOR DOMAIN-FLUX BOTNET IDENTIFICATION

The purpose of this paper is to develop a method for detecting domain-flux botnet. In this paper, we focus on detecting domain-flux botnets based on Domain Name System (DNS) traffic features. We have explored the peculiarities of the domain-flux botnets and developed a botnet model based on DNS, DNS traffic model and model of the detection process determine all features. This method passively captures all DNS traffic from network and then extract all useful data from each DNS message. This method combines handling DNS query failures, the use of frequency domain lexical analysis and the analysis of multiple features derived from DNS messages using the Random Forest machine learning algorithm. We have analyzed a large number of legitimate domains and pseudorandom domain names generated by different domain-flux botnets to get expected values for domain names generated by humans and bots. In addition, this method use white list database to filter known domain names queries. The method allows to identify both known and new previously unknown threats based on a comprehensive analysis of DNS traffic. Comprehensive analysis of DNS traffic improves the efficiency and reliability of the detection of this type of botnets, and allows the detection of attacks in the early stages or even before they occur. In order to evaluate the effectiveness of the proposed approach, Random Forest machine learning algorithm has applied to train predictive model for our detection system. This proposed scheme has implemented and tested in a real local area network. The experimental results show that our proposed method achieves the highest detective efficiency with an average overall true positive rate of up to 96.08% and a false positive rate of 0.8 %. In addition, the proposed method can be the basis for the construction of other software systems for detection of domain-flux botnets.

Keywords: botnet, domain-flux, malware, Random Forest, DNS.

Вступ. Бот-мережі відіграють важливу роль у розповсюдженні зловмисних програм, і вони широко використовуються для поширення шкідливої діяльності в інтернеті. Бот-мережі часто зловживають доменними іменами, оскільки DNS трафік, як правило, не фільтрований або дозволений через брандмауер, тим самим забезпечується стійкий і безперешкодний канал зв'язку [1].

«Потік доменів» – це техніка для збереження шкідливої бот-мережі в роботі шляхом постійної зміни доменного імені Command and Control (C&C) сервера. Доменні імена змінюються з часом на основі певного алгоритму, який відомий лише власнику бот-мережі, що ускладнює виявлення шкідливого трафіку, серверів команд та управління [1]. Зареєструвати, заблокувати або закрити ці доменні імена важко. Навіть відстеження стану цих доменних імен вимагає великої кількості різних ресурсів. Використовуючи цю техніку, бот-мережа може гнучко переносити свої C&C сервери на кілька доменних імен [2].

Одним з підходів до ідентифікації бот-мереж є залучення механізмів машинного навчання, що дозволяє виявляти атаки на ранніх стадіях або навіть до їх виникнення. Такі підходи покладаються на евристичні механізми і нечіткі відповідності, що надає перевагу перед звичайними методами, зокрема перевірки сигнатур.

Тому актуальною задачею є розроблення методу та засобів виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів». Виявлення нових невідомих раніше загроз має здійснюватися на основі поєднання всіх знань про бот-мережі, які використовують технології ухилення на основі DNS. Використання даної технології ухилення може бути виявлене шляхом аналізу ознак, вилучених з DNS-повідомлень, за допомогою машинного навчання. Метод повинен забезпечувати виявлення атак бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів», на ранніх стадіях або навіть до їх виникнення.

Пов'язані роботи. Сучасні бот-мережі, зазвичай використовують технологію «потік доменів» та алгоритм генерації домену (DGA), щоб генерувати велику кількість псевдовипадкових доменних імен [1]. Зазвичай боти бот-мережі генерують велику кількість запитів DNS, зареєстрованих на одну і ту ж IP-адресу, і вони часто генерують багато збоїв у DNS-трафіку [3]. Невдалі DNS-запити можуть вказувати на наявність ботів на клієнтах, тоді як успішні запити, які відбуваються в часі поруч з невдалими, ймовірно пов'язані з неінфікованими клієнтами.

У роботі [3] описано метод виявлення алгоритмічно сформованих доменних імен та представлений підхід для виявлення DGA за допомогою частотного аналізу розподілу символів та зважених балів доменних імен. Доцільність підходу демонструється з використанням ряду законних доменів та ряду зловмисних

алгоритмічно створених доменних імен. Як зазначено у даній роботі, розроблений метод показує хороші результати виявлення, але використовує лише букви для частотного аналізу доменних імен. Проте велика частина доменів також містить в собі цифри 0–9, та також символ дефіс «–».

У роботі [4] також зосереджено увагу на виявленні бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів», на основі функцій трафіку системи доменних імен (DNS). У роботі було проаналізовано велику кількість законних доменів, а також псевдовипадкових доменних імен і було виявлено, що в правилах побудови доменних імен є чітке зміщення. Було зроблено частотний розподіл буквено-цифрових символів для знаходження очікуваного значення доменного імені та аналіз цього розподілу алгоритмами машинного навчання. Результати експериментів показують, що запропонований метод досягає найвищої ефективності виявлення для алгоритмів дерева рішень (J48) із середньою загальною точністю до 92,3 % та Random Forest із середньою загальною точністю 91,6 %.

У роботі [5] представлено прототип системи виявлення бот-мереж, яка використовує пасивний аналіз трафіку DNS для виявлення присутності бот-мережі в локальній мережі. В роботі використовували алгоритм машинного навчання Naïve Bayes. Він проходив навчання на ознаках, витягнутих як з доброякісних, так і зловмисних слідів трафіку DNS. Оскільки запропонований метод оснований на аналізі DNS-трафіку, він дозволяє раннє виявлення ботів у мережі. Крім того, метод не залежить від кількості ботів, що працюють в локальній мережі, і ефективний, коли присутня лише невелика кількість заражених машин. Проте запропонований підхід, спираючись на мінімальний набір особливостей, страждає від високої помилкової негативної оцінки (false negative rate).

Таким чином, методи [3–5] демонструють непогані результати виявлення, але, разом з тим, мають високий рівень хибних спрацювань (false negative rate). Крім того, дані методи використовують для виявлення лише частотний аналіз доменних імен або покладаються на невелику кількість ознак, отриманих з DNS-трафіку, а це означає, що при зміні алгоритму генерації доменів або при зміні поведінки ботів бот-мережі точність виявлення буде суттєво падати.

Метод виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів» на основі алгоритму Random Forest

В роботі пропонується метод виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів» на основі використання алгоритму Random Forest («випадковий ліс»). Метод дозволяє забезпечити виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів» на основі ознак характерних даних технології шкідливого програмного забезпечення.

Робота методу полягає у відслідковуванні мережових пакетів, зокрема DNS-трафіку, формуванні множини ознак, які вказують на діяльність бот-мережі, що використовує технологію «потік доменів», формування та використання білих списків доменних імен для фільтрування трафіку та відсіювання заздалегідь відомих DNS адрес. Крім того застосовуватиметься частотний лексичний аналіз доменних імен для виявлення тих доменів, які найімовірніше сформовані алгоритмічно, а також здійснення висновку на основі алгоритму дерева рішень – Random Forest.

Метод складається з 3-х етапів: етап підготовки, етап навчання та етап виявлення. Укрупнена схема функціонування методу виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів» подана на рис. 1.

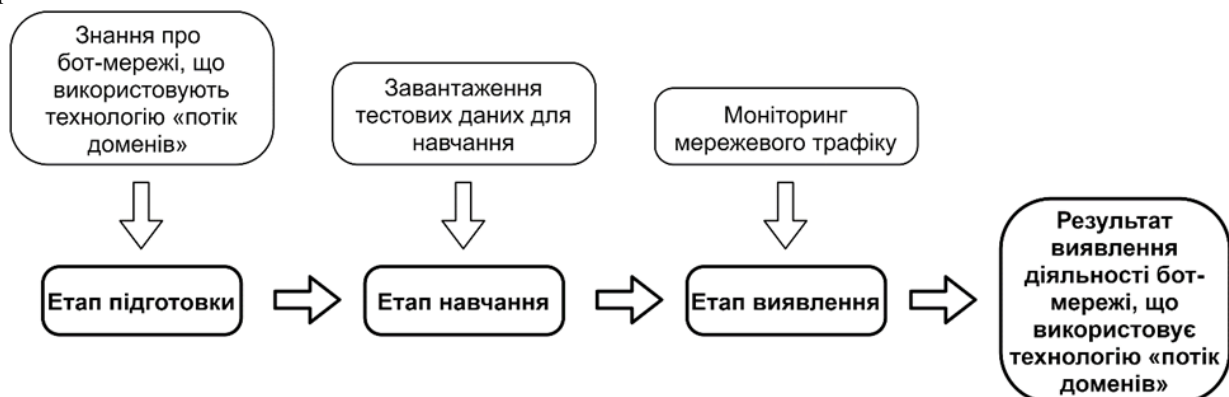


Рис. 1. Укрупнена схема функціонування методу виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів»

Етап підготовки включає наступні кроки:

1) проведення аналізу, побудова моделей та визначення ключових ознак, які будуть застосовуватись для ідентифікації бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів»;

2) збір тестових даних (мережевого трафіку) для навчання.

Етап навчання включає наступні кроки:

– завантаження тестових даних (мережевого трафіку);

– перетворення даних – у більшості випадків наявні дані не підходять для використання безпосередньо для навчання моделі машинного навчання, необхідні дані потрібно попередньо обробити;

– частотний лексичний аналіз доменних імен;

- формування бази даних білих списків доменних імен;
- тренування моделі – побудова «випадкового лісу» за допомогою алгоритму Random Forest, на основі ознак, визначених на етапі підготовки для ідентифікації бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів»;
- оцінка моделі.

Етап виявлення діяльності бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів»:

- моніторинг мережевого трафіку;
- фільтрування DNS-трафіку, яке використовує відсіювання відомих DNS-запитів, які містять легітимні доменні імена;
- збір усіх наявних параметрів та ознак у відфільтрованому зібраному трафіку;
- виявлення груп, в яких DNS-запит є невдалим;
- виявлення запитів, в яких доменні імена за методом статистичного аналізу найімовірніше сформовані алгоритмічно;
- співставлення кількох груп ознак та їх аналіз за допомогою штучного інтелекту та методу машинного навчання Random Forest;
- формування висновків.

Загальна схема функціонування методу виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів», надана на рис. 2.

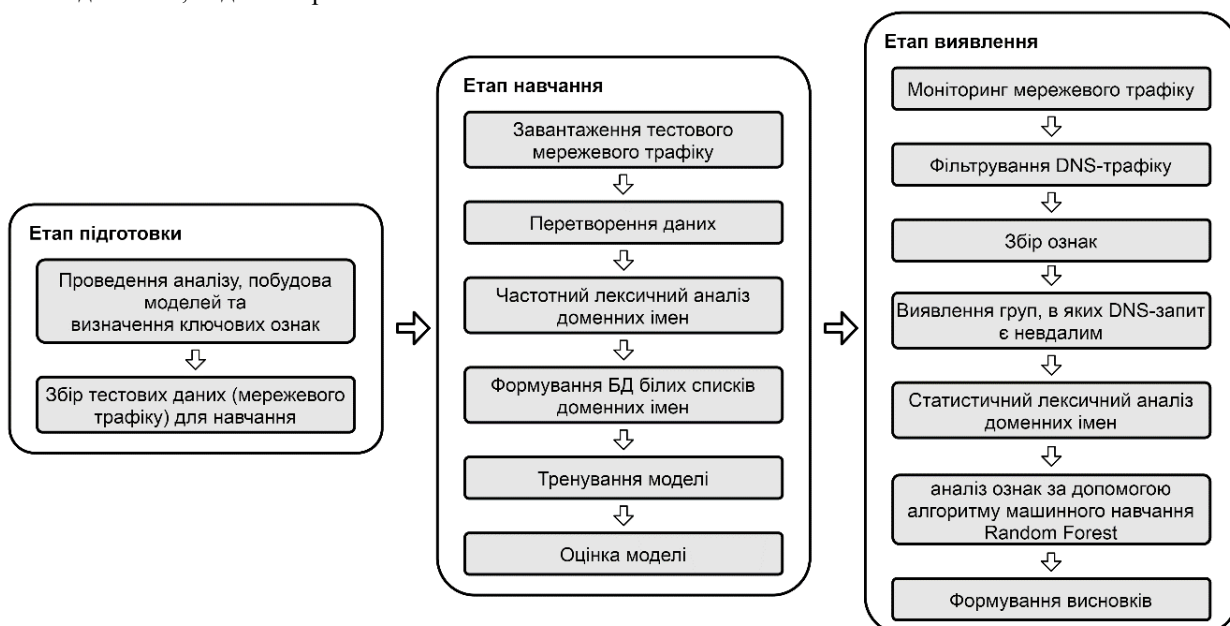


Рис. 2. Загальна схема функціонування методу виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів»

Етап підготовки методу виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів»

На етапі підготовки *першим кроком* є проведення аналізу, побудова моделей та визначення ключових ознак, які будуть застосовуватись для ідентифікації бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів». Оскільки виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів», ґрунтується на моделі бот-мереж з урахуванням системи доменних імен та моделі DNS-трафіку, то важливою задачею є розроблення моделі DNS-трафіку та DNS-пакета.

Представимо модель DNS-трафіку у вигляді кортежу:

$$DNS_{traffic} = \{M, C, S, D\}, \quad (1)$$

де M – множина DNS-повідомлень надісланих та отриманих від множини C комп'ютерних систем мережі, $M = M_O \cup M_I$, де M_O та M_I – множина вихідних та вхідних DNS-повідомлень, відповідно;

C – множина комп'ютерних систем мережі;

S – множина DNS-серверів, до яких було надіслано та отримано DNS-запити та DNS-відповіді відповідно, $S = S_L \cup S_N$, де S_L та S_N – множина локальних та нелокальних DNS-серверів відповідно;

D – множина запитаних доменних імен множиною C комп'ютерних систем мережі, $D = \{d_j\}_{j=1}^{N_D}$, де N_D – кількість різних доменних імен.

Враховуючи поля вхідного DNS-повідомлення, дані з яких можуть бути використані для виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів», згідно стандартів RFC 1034 [6] та RFC 1035 [7],

представимо модель DNS-повідомлення $R \in M = \{M_j\}_{j=1}^{N_M}$, де N_M – кількість DNS-повідомлень, у вигляді кортежу:

$$R = \{R_{Mac}, R_{IP}, R_{Port}, R_T, \{R_H, R_{Req}, R_{Ans}, R_{Ath}, R_{Add}\}\}, \quad (2)$$

де R_{Mac} – MAC-адреса КС, що здійснювала DNS-запит;

R_{IP} – IP-адреса джерела DNS-пакета;

R_{Port} – порт джерела DNS-пакета;

R_T – час надходження DNS-пакета;

$R_H, R_{Req}, R_{Ans}, R_{Ath}, R_{Add}$ – секції DNS-повідомлення: заголовок (Header), секція запиту (Question), секція відгуків (Answer), секція серверів імен (Authority), секція додаткової інформації (Additional) відповідно.

Відповідно до [6,7] заголовок DNS-повідомлення опишемо наступним чином:

$$R_H = \{R_{H,ID}, R_{H,QR}, R_{H,OP}, R_{H,FLG}, R_{H,RC}, R_{H,QD}, R_{H,AN}, R_{H,NS}, R_{H,AR}\}, \quad (3)$$

де $R_{H,ID}$ – унікальний ідентифікатор транзакції, що дозволяє пов'язати DNS-запит та DNS-відгук;

$R_{H,QR}$ – ідентифікатор, який вказує на те, чи є пакет запитом, коли $R_{H,QR} = 0$, чи відповіддю – $R_{H,QR} = 1$;

$R_{H,OP}$ – тип запиту, $R_{H,OP} \in \{0, \dots, 3\}$, де 0 – стандартний, 1 – інверсний, 2 – стан сервера, 3 – резерв;

$R_{H,FLG}$ – прапорці;

$R_{H,RC}$ – код відгуку, $R_{H,RC} \in \{0, \dots, 5\}$, де 0 – немає помилки, 1 – помилка в форматі запиту, 2 – некоректна робота сервера, 3 – доменне ім'я не існує, 4 – сервер не може виконати запит даного типу, 5 – сервер не може виконати запит клієнт, оскільки має адміністративне обмеження безпеки;

$R_{H,QD}$ – кількість записів в секції запитів;

$R_{H,AN}$ – кількість записів в секції відповіді;

$R_{H,NS}$ – кількість записів в секції серверів імен;

$R_{H,AR}$ – кількість записів в секції додаткової інформації.

Структуру секції запиту DNS-повідомлення [6, 7] опишемо наступним чином:

$$R_{Req} = \{R_{Req,QN}, R_{Req,QT}, R_{Req,QC}\}, \quad (4)$$

де $R_{Req,QN}$ – поле QNAME, доменне ім'я, до якого прив'язаний даний запис;

$R_{Req,QT}$ – тип запису DNS, який шукається;

$R_{Req,QC}$ – визначальний клас запиту.

Структуру секції відповіді DNS-повідомлення [6,7] може бути описана наступним чином:

$$R_{Ans} = R_{Ath} = R_{Add} = \{R_{A,N}, R_{A,T}, R_{A,C}, R_{A,TTL}, R_{A,RDL}, R_{A,RD}\}, \quad (5)$$

де $R_{A,N}$ – поле NAME, ідентичне полю $R_{Req,QN}$;

$R_{A,T}$ – поле TYPE, визначає формат і призначення даного ресурсного запису;

$R_{A,C}$ – поле CLASS, клас ресурсного запису;

$R_{A,TTL}$ – допустимий час зберігання даного ресурсного запису в кеші невідповідального DNS-сервера;

$R_{A,RDL}$ – довжина поля даних;

$R_{A,RD}$ – поле даних, формат і зміст якого залежить від типу запису.

Алгоритм вилучення ознак з вхідних DNS-повідомлень, щодо певного доменного імені представимо у вигляді кортежу:

$$AF = \{D, M, R, V\}, \quad (6)$$

де V – множина ознак, які вказують на застосування технології «потік доменів».

Множина ознак, що вказують на діяльність бот-мережі, яка використовує технологію ухилення «потік доменів», складається з наступних елементів:

$$V = \{N_{dom}, S_{bit}, T_{ttl}, L_{dom}, N_{num}, W_{dom}\}, \quad (7)$$

де N_{dom} – кількість доменних імен, які спільно використовують IP-адресу;

S_{bit} – бінарна ознака успішності DNS-запиту (якщо $S_{bit} = \text{false}$ – невдалий, а якщо $S_{bit} = \text{true}$ – вдалий);

T_{ttl} – TTL-період;

L_{dom} – довжина доменного імені;

N_{num} – кількість цифр в доменному імені;

W_{dom} – зважена оцінка частотного лексичного аналізу доменних імен, визначається за формулою:

$$W_{dom} = \frac{\sum_{i=0}^n X_i}{n} \quad (8)$$

де n – кількість літер в доменному імені;

X_i – частота використання i -ї літери.

Другим кроком збирається DNS-трафік за допомогою моніторингу мережі через SPAN-порт комутатора мережі, який дублює пакети від одного або декількох портів на окремо взятий порт.

Етап навчання методу ідентифікації бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів»

На етапі навчання **першим кроком** є завантаження тестових даних, зібраних на другому кроці етапу підготовки. На **другому кроці** з тестового мережевого трафіку необхідно вилучити ознаки та дані, які будуть безпосередньо використовуватись для виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів» і представити їх в нормалізованому вигляді.

З тестового мережевого трафіку вибираються наступні дані:

$$PV_j = \left\{ \begin{array}{l} R_{Mac,j}, R_{IP,j}, R_{Port,j}, R_{T,j}, R_{H,ID,j}, R_{H,QR,j}, \\ R_{H,RC,j}, R_{A,N,j}, R_{Req,QN,j}, R_{A,TTL,j} \end{array} \right\} \quad (9)$$

$$j = d_1, \dots, d_{N_D}.$$

Розділимо наші дані на групи представлені наступними кортежами:

1. $G_{1,j} = \{R_{Mac,j}, R_{IP,j}, R_{Port,j}\}$ – для відслідковування запитів від конкретного адресу;
2. $G_{2,j} = \{R_{H,ID,j}, R_{H,QR,j}\}$ – унікальний ідентифікатор транзакції та ідентифікатор, який вказує на те, чи є пакет запитом чи відповіддю, що дозволяє пов'язати DNS-запит та DNS-відгук;
3. $G_{3,j} = \{R_{H,RC,j}\}$ – код відгуку та бінарна ознака успішності DNS-запиту дозволяють дізнатись чи DNS-запит пройшов без помилок та був успішним;
4. $G_{4,j} = \{R_{T,j}, R_{A,TTL,j}\}$ – час надходження пакету та TTL період дозволяють відслідковувати чи від конкретного адресу не надходили запити на інші доменні імена;
5. $G_{5,j} = \{R_{A,N,j}, R_{Req,QN,j}\}$ – остання група буде використовуватись для частотного аналізу доменних імен.

Поєднавши дані з наступних груп $N_{dom} = G_1 \cup G_2 \cup G_4$, отримують кількість доменних імен, які спільно використовують IP-адресу. З групи G_3 вибираються дані для бінарної ознаки успішності DNS-запитів. Дані з групи G_4 використовуються для визначення T_{ttl} – TTL-період. Група G_5 дає можливість підрахунку наступних ознак: $L_{dom} \cdot N_{num}$ та n (кількість літер в доменному імені без врахування доменних зон) для формули зваженої оцінки лексичного аналізу доменних імен W_{dom} .

На **третьому кроці** використовується частотний лексичний аналіз, обраховуючи частоту появи букв, цифр та символів в доменних іменах сформованих людиною та алгоритмічно, для використання цих даних в обрахунку зважених оцінок частотного лексичного аналізу доменних імен W_{dom} , а саме для параметра X_i (частота використання i -ї літери). Модель вхідних даних представимо кортежем:

$$DData = \{LDD, MDD\}, \quad (10)$$

де LDD – множина доменних імен сформованих людиною, $LDD = TDD \cup WLDD$, де TDD – множина топ використовуваних доменних імен; $WLDD$ – множина білих списків доменних імен;

MDD – множина доменних імен сформованих алгоритмом генерації доменних імен (DGA), $MDD = BLDD \cup DGAD$, де $BLDD$ – множина чорних списків доменних імен; $DGAD$ – множина доменних імен сформованих алгоритмічно.

На **четвертому кроці** формується базу даних білих списків доменних імен, необхідних нам для початкової фільтрації DNS-трафіку. За допомогою співставлення доменних імен отриманих з трафіку та доменних імен з бази даних білих списків дозволить відсіяти не шкідливі запити, які ідуть від легальних серверів. База даних білих списків доменних імен формується з множини LDD , вибираючи унікальні записи з кожної з множин. Множина LDD включає в себе множину TDD – множина доменних імен з різних джерел, таких як Alexa, Quantcast, Cisco Umbrella, DomCop, The Majestic та інші популярні джерела.

На **п'ятому кроці** здійснюється тренування моделі та побудова «випадкового лісу» за допомогою алгоритму Random Forest, на основі ознак, визначених на етапі підготовки та перетворені на попередньому кроці під використання в машинному навчанні для ідентифікації бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів». Початок алгоритму випадкових лісів починається з випадкового вибору k ознак із загальної кількості m ознак, визначених на етапі підготовки для ідентифікації бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів» [8].

Далі використовуються довільно вибрані k ознаки, щоб знайти кореневий вузол, використовуючи найкращий розділений підхід для дерева. Наступним етапом обчислюються дочірні вузли, використовуючи той самий найкращий розділений підхід. Перші 3 етапи повторюються, поки не сформується дерево з кореневим вузлом та буде досягнуто листового вузла. На кінець, повторюються 1–4 етапи, щоб створити n випадково створених дерев. Ці випадково створені дерева утворюють випадковий ліс [8].

Для найкращого розподіленого підходу пропонується використовувати такий критерій як приріст інформації та коефіцієнт (індекс) Джині. Значення сортуються так, що атрибут з високим значенням розміщується в корені. Використовуючи інформаційний приріст як критерій, оцінюється інформація, що

міститься в кожному атрибуті. Обрахувавши міру ентропії для кожного атрибута обчислюється їх інформаційний приріст [9]. Міра ентропії розраховується за формулою:

$$E(X) = - \sum_{x \in X} p(x) \log p(x), \quad (11)$$

де $p(x)$ – частота ознаки x у даному вузлі; X – кількість унікальних ознак.

Інформаційний приріст обчислює очікуване зменшення ентропії за рахунок сортування за атрибутом та розраховується за формулою:

$$IG(T, X) = E(T) - E(T, X), \quad (12)$$

де T – цільова ознака; X – ознака, яку потрібно розділити.

Індекс Джині – це показник нерівності розподілу деякої величини, який вказує наскільки часто випадково вибраний елемент буде неправильно ідентифікований. Індекс Джині приймає значення від 0 і до 1, де 0 означає абсолютну рівність, а 1 позначає повну нерівність. Це означає, що слід віддати перевагу атрибуту з нижчим показником Джині [9]. Коефіцієнт Джині розраховується за наступною формулою:

$$I_G(f) = \sum_{i=1}^m f_i(1 - f_i) = \sum_{i=1}^m (f_i - f_i^2) = \sum_{i=1}^m f_i - \sum_{i=1}^m f_i^2 = 1 - \sum_{i=1}^m f_i^2, \quad (13)$$

де f_i – частота ознаки i у даному вузлі; m – кількість унікальних ознак.

Прогнозування навченого за допомогою алгоритму випадковий ліс складається з наступних кроків: 1. беруться тестові ознаки та використовуються правила кожного випадково створеного дерева рішень для прогнозування результату; 2. підраховуються голоси за кожен прогнозований результат; 3. вибирається прогнозований результат з найвищою оцінкою як остаточний прогноз алгоритму випадковий ліс[8].

Шостим кроком оцінюється продуктивність системи, яка зазвичай визначається такими показниками: True Positive Rate (TPR), False Positive Rate (FPR), True Negative Rate (TNR), False Negative Rate (FNR), Accuracy (ACC) [4], коефіцієнт помилок (ERR) та коефіцієнт кореляції Matthews (MCC). Для визначення оцінок продуктивності системи використовуються наступні поняттями та показники: condition positive (P) – кількість реальних позитивних випадків виявлення запитів бот-мережі; condition negative (N) – кількість реальних негативних випадків виявлення запитів бот-мережі; True Positive (TP) – правильно ідентифіковані запити бот-мереж; True Negative (TN) – правильно ідентифіковано звичайний запит; False Positive (FP) – неправильно визначені запити бот-мереж; False Negative (FN) – помилково визначені запити бот-мережі як звичайний запит[4].

True Positive Rate (TPR) вимірює відсоток правильно класифікованих запитів бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів». TPR розраховується за формулою:

$$TPR = \frac{TP}{P} = \frac{TP}{TP + FN}.$$

False Positive Rate (FPR) вимірює відсоток звичайних запитів, хибно класифікованих як запити бот-мереж.

FPR розраховується за формулою:

$$FPR = \frac{FP}{N} = \frac{FP}{FP + TN}.$$

True Negative Rate (TNR) вимірює відсоток правильно класифікованих звичайних запитів. TNR розраховується за формулою:

$$TNR = \frac{TN}{N} = \frac{TN}{TN + FP}.$$

False Negative Rate (FNR) вимірює відсоток запитів бот-мереж, хибно класифікованих як звичайні запити.

FNR розраховується за формулою:

$$FNR = \frac{FN}{P} = \frac{FN}{FN + TP}.$$

Позитивні прогнозовані значення (Accuracy (ACC)) вимірює ступінь близькості між вимірами класифікованих запитів та сумою фактичних запитів бот-

мереж та звичайних запитів. ACC розраховується за формулою:

$$ACC = \frac{TP + TN}{P + N} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}.$$

Коефіцієнт помилок (або помилка неправильної класифікації) вимірює відношення неправильно класифікованих запитів до загальної кількості класифікованих запитів бот-мереж та звичайних запитів.

Коефіцієнт помилок розраховується за формулою:

$$ERR = \frac{FP + FN}{TP + TN + FP + FN} = 1 - ACC \quad [4].$$

Коефіцієнт кореляції Matthews (Matthews Correlation Coefficient (MCC)) використовується в машинному навчанні як міра якості двійкових класифікацій. MCC розраховується за формулою:

MCC =
$$\frac{TP \times TN - FP \times FN}{\sqrt{(TP + FP)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FN)}}.$$

Етап виявлення методу ідентифікації бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів»

На **першому кроці** отримують DNS-трафік за допомогою моніторингу мережі через SPAN-порт комутатора мережі (Switched Port Analyzer), який дублює пакети від одного або декількох портів на окремо взятий порт. Отримання DNS-трафіку через SPAN-порт опишемо наступною функцією:

$$f_{get} \Rightarrow \{DNS | DNS \in Traff\} \xrightarrow{f_{get}} DNS_{real}, \quad (14)$$

де *Traff* – мережевий трафік, який проходить через SPAN-порт комутатора мережі; *DNS* – множина DNS-пакетів трафіку.

На *другому кроці* виконується пошук доменних імен з множини N_D доменних імен отриманих з DNS-трафіку в множині LDD доменних імен бази даних білих списків. Отриманий трафік представимо кортежем:

$$DNS_{real} = \{M, C, S, D\} \quad (15)$$

З множини M DNS-повідомлень вибирається множина M_I вхідних DNS-повідомлень, де $M_I \in M$. Для кожного M_I переглядається секція R_{Req} запиту DNS-повідомлення. Далі дістається значення поля $R_{Req, QN}$. Функцію пошуку доменних імен отриманих з DNS-трафіку в базі даних легітимних доменних імен представимо наступним чином:

$$f_{find} \Rightarrow R_{Req, QN} \cap LDD \xrightarrow{f_{find}} RF_{Req, QN}, \quad (16)$$

де $RF_{Req, QN}$ – множина знайдених доменних імен в множині LDD , $RF_{Req, QN} \in R_{Req, QN}$.

Дану множину $RF_{Req, QN}$ потрібно відняти від множини $R_{Req, QN}$ для отримання відфільтрованої множини доменних імен для подальшого аналізу. Опишемо дану операцію такою функцією:

$$f_{filter} \Rightarrow R_{Req, QN} \setminus [RF_{Req, QN}] \setminus (R_{Req, QN} \setminus (R_{Req, QN} \setminus [RF_{Req, QN}])) \setminus [R'] \setminus (R_{Req, QN}), \quad (17)$$

де $R'_{Req, QN}$ – множина доменних імен не знайдених в базі даних білих списків доменних імен.

На *третьому кроці* подається множина даних, отриманих з вхідних DNS-повідомлень щодо певного доменного імені наступним чином:

$$PV = \left\{ \begin{array}{l} R'_{Mac}, R'_{IP}, R'_{Port}, R'_T, R'_{H, ID}, R'_{H, QR}, \\ R'_{H, RC}, R'_{A, N}, R'_{Req, QN}, R'_{A, TTL} \end{array} \right\} \quad (18)$$

Аналогічно другому кроку етапу навчання перетворюються отримані дані в ознаки, розбиваючи дані на групи: $G_1 = \{R'_{Mac}, R'_{IP}, R'_{Port}\}$, $G_2 = \{R'_{H, ID}, R'_{H, QR}\}$, $G_3 = \{R'_{H, RC}\}$, $G_4 = \{R'_T, R'_{A, TTL}\}$, $G_5 = \{R'_{A, N}, R'_{Req, QN}\}$. Після перетворення даних отримують множину нормалізованих ознак, необхідних для аналізу та виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів»:

$$V = \{N_{dom}, S_{bit}, T_{ttl}, L_{dom}, N_{num}, W_{dom}\} \quad (19)$$

На *четвертому кроці* виявляються групи запитів, в яких DNS-запит є невдалим. Використовуючи групу G_3 визначається бінарна ознака успішності запиту за допомогою наступної функції:

$$f_{RC} \Rightarrow R'_{H, RC} = 0 \rightarrow true \vee R'_{H, RC} \in \{1, \dots, 5\} \rightarrow false \xrightarrow{f_{RC}} S_{bit} \quad (20)$$

На *п'ятому кроці* виявляються запити, в яких доменні імена за методом статистичного аналізу найімовірніше сформовані алгоритмічно. Береться множина $R'_{Req, QN}$ та для кожного доменного імені, визначається значення зваженої оцінки частотного лексичного аналізу за формулою:

$$W_{dom, j} = \frac{\sum_{i=0}^{n_j} X_{i, j}}{n_j}, \quad (21)$$

де j – кількість доменних імен отриманих з DNS'_{real} , $j = d'_1, \dots, d'_{N'_d}$, де $d' \in R'_{Req, QN}$; n_j – кількість літер в j -му доменному імені; $X_{i, j}$ – частота використання i -ї літери j -го доменного імені.

Зважені оцінки W_{dom} частотного лексичного аналізу доменних імен DNS-повідомлень використовуються для подальшого виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів», на основі алгоритму Random Forest, як одна із ознак, що вказують на застосування даної технології ухилення.

На *шостому кроці* всі вибрані та проаналізовані дані з відфільтрованого DNS-трафіку об'єднуються в множину ознак, що дозволить виявляти бот-мережі, які використовують технологію «потік доменів», на основі алгоритму Random Forest. Для всіх отриманих згрупованих даних застосовується перетворення та нормалізація, в результаті отримують множину ознак щодо кожного доменного імені, яка матиме наступний вигляд:

$$V_j = \{N_{dom, j}, S_{bit, j}, T_{ttl, j}, L_{dom, j}, N_{num, j}, W_{dom, j}\}, \quad (22)$$

де $j \in R'$ – кількість зібраних DNS-повідомлень після фільтрування.

Сьомим кроком формуються висновки на основі аналізу множини ознак V_j щодо кожного доменного імені алгоритмом машинного навчання Random Forest. Оскільки, використовується бінарна класифікація алгоритмом машинного навчання, то на виході отримують відповідно до кожного запитаного доменного імені результат, який може набувати двох значень: інфікований запит від бота бот-мережі або неінфікований запит.

Експерименти

Для оцінки ефективності даного методу ідентифікації бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів», було проведено ряд експериментів. Спочатку було зібрано базу зразків доменних імен сформованих алгоритмічно різними алгоритмами генерації доменів відомих бот-мереж, а також базу легітимних доменів [10].

Для забезпечення неупереджених результатів на етапі тренування набір даних було розділено на дві частини. Перший – 75 % для тренування, а решта 25 % використовується для перевірки правильності. Кількість проаналізованих доменних імен подано в таблиці 1.

Таблиця 1

Кількість доменних імен використаних для навчання та тестування

Набір даних	Зразки	Навчальний набір даних	Тестовий набір даних
DGA	Conficker	75000	25000
	Cryptolocker	75000	25000
	Zeus	75000	25000
	GameoverZeus	1250	417
	NewGameoverZeus	1250	416
	Kraken (v1)	1500	500
	Kraken (v2)	1500	500
	Matsnu	75000	25000
	PushDO	76013	25337
	Ramdo	75000	25000
	Rovnix	75000	25000
Легітимні	Tinba	76051	25350
	Majestic	750000	250000
	Quantcast	348816	116272
	Cisco Umbrella	750000	250000
	Alexa	633245	211083
	DomCom	750000	250000
Всього		3839625	1279875

Всього було проаналізовано 5119500 доменних імен, серед яких 3839625 (75 %) було відібрано для навчання, а 1279875 (25 %) – використовувались для перевірки правильності. Загальна кількість проаналізованих доменних імен сформованих алгоритмічно – 810084 (15,8 % від загальної кількості проаналізованих доменних імен), серед яких 607564 використано для навчання, а 202520 – для перевірки правильності. Загальна кількість проаналізованих легітимних доменних імен – 4309416 (84,2 % від загальної кількості проаналізованих доменних імен), серед яких 3232061 використано для навчання, а 1077355 – для перевірки правильності.

Було проведено експеримент, використовуючи файл-знімок мережі, який було накопичено шляхом моніторингу мережі через SPAN-порт комутатора. Загальна кількість запитів становила 3547. Також були присутні запити від ботів бот-мережі, що використовують технологію «потік доменів». Загальна кількість їх становила 306. Правильно ідентифіковано 294 запити, що складає 96,08 % від загальної кількості. Загальну кількість правильно та неправильно ідентифікованих запитів подано в таблиці 2.

Таблиця 2

Кількість та правильність ідентифікованих запитів

Назва	Кількість / з загальної кількості
Правильно ідентифіковані інфіковані запити (TP)	294 / 306
Неправильно ідентифіковані інфіковані запити (FN)	12 / 306
Правильно ідентифіковані неінфіковані запити (TN)	3215 / 3241
Неправильно ідентифіковані неінфіковані запити (FP)	26 / 3241

Оцінку продуктивності системи в результаті експериментальних досліджень подано в таблиці 3.

Таблиця 3

Оцінка продуктивності системи

TPR	TNR	FPR	FNR	ACC	ERR	MCC
96,08 %	99,2 %	0,8 %	3,92 %	98,93 %	1,07 %	0,9337

Таким чином, запропонований метод продемонстрував можливість виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів», з високою достовірністю (96,08 %).

Висновки. Запропоновано метод виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів», на основі комплексного аналізу DNS-трафіку. Метод дозволяє виявляти як відомі так і нові невідомі раніше загрози на основі комплексного аналізу DNS-трафіку.

Метод поєднує в собі опрацювання збоїв у DNS-запитах, використання частотного лексичного аналізу доменних імен та аналіз множини ознак отриманих з DNS-повідомлень за допомогою алгоритму машинного навчання Random Forest, що дозволяє підвищити ефективність та достовірність виявлення даного типу бот-мереж, а також дає змогу виявляти атаки на ранніх стадіях або навіть до їх виникнення.

Експериментальні дослідження продемонстрували здатність запропонованого методу до виявлення бот-мереж, що використовують технологію «потік доменів» з високою достовірністю (до 96,08 %).

Література

1. Dodopoulos R. DNS-based Detection of Malicious Activity: master's thesis, Eindhoven University of Technology. 2015.
2. Лисенко С.М. Методи виявлення бот-мереж в комп'ютерних системах / С.М. Лисенко, К.Ю. Бобровнікова, В.С. Харченко // Сучасні інформаційні системи. – 2019. – Т. 3. – С. 87–95.
3. Agyepong E., Buchanan W., Jones K. Detection of Algorithmically Generated Malicious Domain Using Frequency Analysis. International Journal of Computer Science and Information Technology. 2018. DOI: 10.5121/ijcsit.2018.10306.
4. Truong D., Cheng G. Detecting domain-flux botnet based on DNS traffic features in managed network. Security Comm. Networks. 2016. 9: 2338–2347. DOI: 10.1002/sec.1495.
5. Wielogorska M., O'Brien D. DNS Traffic analysis for botnet detection: Proceedings of the 25th Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science (Dublin, December 7 – 8, 2017). P. 261–271.
6. Mockapetris P. RFC-1034. Domain names – concepts and facilities ISI, 1987. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1034.txt?number=1034>.
7. Mockapetris P. RFC-1035. Domain names – concepts and facilities. ISI, 1987. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1035.txt?number=1035>.
8. Polamuri S. How the Random Forest algorithm works in machine learning. URL: <https://dataaspirant.com/2017/05/22/random-forest-algorithm-machine-learning> (application date: 13.03.2020).
9. Ronaghan S. The Mathematics of Decision Trees, Random Forest and Feature Importance in Scikit-learn and Spark. URL: <https://towardsdatascience.com/the-mathematics-of-decision-trees-random-forest-and-feature-importance-in-scikit-learn-and-spark-f2861df67e3> (application date: 13.03.2020).
10. Trost J. Getting Started with DGA Domain Detection Research. URL: <http://www.covert.io/getting-started-with-dga-research> (application date: 13.03.2020).

References

1. Dodopoulos R. DNS-based Detection of Malicious Activity: master's thesis, Eindhoven University of Technology. 2015.
2. Lysenko S.M. Metody vyivlennia bot-merezh v kompiuternykh systemakh / S.M. Lysenko, K.Iu. Bobrovnikova, V.S. Kharchenko // Suchasni informatsiini systemy. – 2019. – Т. 3. № . – С. 87–95.
3. Agyepong E., Buchanan W., Jones K. Detection of Algorithmically Generated Malicious Domain Using Frequency Analysis. International Journal of Computer Science and Information Technology. 2018. DOI: 10.5121/ijcsit.2018.10306.
4. Truong D., Cheng G. Detecting domain-flux botnet based on DNS traffic features in managed network. Security Comm. Networks. 2016. 9: 2338–2347. DOI: 10.1002/sec.1495.
5. Wielogorska M., O'Brien D. DNS Traffic analysis for botnet detection: Proceedings of the 25th Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science (Dublin, December 7 – 8, 2017). P. 261–271.
6. Mockapetris P. RFC-1034. Domain names – concepts and facilities ISI, 1987. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1034.txt?number=1034>.
7. Mockapetris P. RFC-1035. Domain names – concepts and facilities. ISI, 1987. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1035.txt?number=1035>.
8. Polamuri S. How the Random Forest algorithm works in machine learning. URL: <https://dataaspirant.com/2017/05/22/random-forest-algorithm-machine-learning> (application date: 13.03.2020).
9. Ronaghan S. The Mathematics of Decision Trees, Random Forest and Feature Importance in Scikit-learn and Spark. URL: <https://towardsdatascience.com/the-mathematics-of-decision-trees-random-forest-and-feature-importance-in-scikit-learn-and-spark-f2861df67e3> (application date: 13.03.2020).
10. Trost J. Getting Started with DGA Domain Detection Research. URL: <http://www.covert.io/getting-started-with-dga-research> (application date: 13.03.2020).

Надійшла / Paper received: 04.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020

УДК 004.056.5

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-7

С. М. ЛИСЕНКО, В. Ю. ОМЕЛЬЯНЕНКО, Р. В. ЩУКА

Хмельницький національний університет

МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ ШПИГУНСЬКОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

У роботі представлено подальший розвиток методу ідентифікації шпигунського програмного забезпечення в комп'ютерних системах, який дозволяє виявляти усі типи, і відрізняється від відомих тим, що забезпечує принцип проактивності та базується на механізмах машинного навчання з підкріпленням. Запропонований метод ідентифікації шпигунського програмного забезпечення використовує аналіз поведінки програмного забезпечення в комп'ютерних системах. Метод ґрунтується також на аналізі даних із залучення апарату машинного навчання, зокрема навчання з підкріпленням, який оперує з поняттями значень стабільності для виявлення ШПЗ. Запропонований метод використовує рівняння отримання нової інформації, здійснює обчислення величини впливу кожної з властивостей програмного забезпечення в потрібній категорії, а завдяки ефективності стабільності EAX, значення присвоюється до нього в якості нагороди.

Ключові слова: шкідливе програмне забезпечення, шпигунське програмне забезпечення, ідентифікація, машинне навчання, навчання з підкріпленням, комп'ютерна система.

S. LYSENKO, V. OMELIANENKO, R. SHCHUKA

Khmelnitskyi National University

METHOD FOR THE SPYWARE IDENTIFICATION IN THE COMPUTER SYSTEMS

The paper presents a method of identification of spyware identification software in computer systems, which allows detection of all types, and differs from the known ones, which provides the principle of proactivity and is based on mechanisms of machine learning. For the proposed method of identifying spyware, it uses an analysis of the behaviour of the software on computer systems. The method is also based on a downstream analysis of the involvement of machine learning apparatus, in particular reinforcement learning, which operates with concepts of stability values for the malware detection. The proposed method, using the equation for obtaining new information, calculates the value of the impact of each of the properties of the software in the desired category, and due to the efficiency of EAX stability, the value is assigned to it as a reward. Here are some basic steps in the method of identifying spyware on computer systems: tracking the behaviour of executable files on a computer system; calculation of stability values; selection of features that may indicate the presence of spyware on computer systems by equating the retrieval of new information; calculating the reward value based on the EAX stability value; building a spyware identification template; software instance analysis; calculating the stability value of the software instance under study; adaptation of a file of a file with the obtained stability values for comparison with malicious and useful instances of files based on the stability values of known spyware. Method for the spyware identification in the computer systems enables the detection of the URL logger, Keyloggers, Screen Recorders, Chat loggers, Email logger, Password logger, Password hijackers, Keyloggers and password loggers, logger, Advertising Programs (Web Errors), Browser Hijacking, Modem abduction, PC abduction, Information thefts (Infostealers) and Banking Trojans. Proposed method demonstrated the possibility of spyware detection with high reliability up to 97.55 %.

Keywords: malware, spyware, machine learning, identification, reinforcement learning, computer system.

Вступ. Шпигунське програмне забезпечення – це тип шкідливого програмного забезпечення, яке проникає в операційну систему (ОС) комп'ютерної системи (КС) зловмисним способом [1]. Вони розроблені для відстеження дій користувачів у КС та Інтернеті, викрадаючи конфіденційну інформацію [2].

За підрахунками, понад 80 % усіх КС інфіковано певним шпигунським програмним забезпеченням [3, 4].

Існує помилкова думка, що шпигунське програмне забезпечення – це комп'ютерний вірус. Комп'ютерний вірус – це фрагмент коду, призначений для реплікації себе якомога більше разів, поширюючись з одного хост-комп'ютера на будь-який інший комп'ютер, підключений до нього.

Шпигунське ПЗ не призначене для пошкодження КС. Шпигунське програмне забезпечення визначається загалом як будь-яка програма, яка потрапляє в КС без дозволу користувача і приховує своє функціонування у фоновому режимі, в той час як вносить небажані зміни у функціонал ОС. Шкода, яку завдає ШПЗ полягає у тому, щоб перетворити користувача на ціль реклами або змусити браузер користувача відображати певні сайти чи результати пошуку [3].

Відомі методи ідентифікації шпигунського програмного забезпечення демонструють невисоку достовірність проактивного виявлення, тому актуальною задачею є розроблення нових методів, що вирішують вище вказану задачу забезпечення інформаційної безпеки КС.

Пов'язані роботи. Існує багато сучасних методів та підходів до ідентифікації шпигунського програмного забезпечення.

В [5] запропоновано метод аналізу поведінки ПЗ, в якій послідовності системних викликів отримують та представляють інструкціями MIST. Тоді за допомогою методу N-грам виконується генерація набору функцій на основі зібраних даних системного виклику. В [6] представлено метод ідентифікації ШПЗ, який дозволяє виявляти системні виклики шляхом моніторингу та їх перетворення у впорядковані граф системних викликів (OSCG). У [7–11] виявлення здійснюється за допомогою аналізу частотних викликів системних функцій, а також залучалася кластеризація зразків зловмисного програмного забезпечення в групи, а на основі методу найближчого спільного сусіда (SNN). В [12] представлено результати вилучення послідовності опкодів кожного блоку відповідно до структури потоку управління зразками шкідливих програм, а потім обчислено хеш-функцію для формування множини функцій. Потім функції були обрані за

допомогою IDF та використовувались для пошуку правил класифікації шкідливих та корисних зразків. В [13–15] надано граф потоку зразків шкідливих програм у вигляді дерева виконання, щоб отримати шляхи виконання. Вони об'єднали всі можливі шляхи для формування потоку опкодів і використовували метод N-грам для отримання функцій поведінки. Крім того, IG та DF використовувались для вибору особливостей поведінки. В [16] запропоновано метод, який отримує ознаки про виклики з коду розбирання зразків шкідливого програмного забезпечення. Використовуючи статистичні методи, частоти викликів API підраховуються і виконується висновок щодо присутності ШПЗ на основі методів IG та CHI. В [17–19] запропонувала IT, яка дозволяє виконати класифікацію шкідливих програм. Система включає в себе бази даних графів з API викликів та створює графічні вектори на основі графів, які несуть ненульовий показник подібності в одному елементі лише у тому випадку, якщо відповідний граф найкраще відповідає одному з графів.

Таким чином, аналіз ефективності методів [5–19] продемонстрував їх невисоку достовірність ідентифікації шпигунського програмного забезпечення, а також високий рівень хибних спрацювань.

Метод ідентифікації шпигунського програмного забезпечення. В роботі представлено подальший розвиток методу ідентифікації шпигунського програмного забезпечення в комп'ютерних системах, який дозволяє виявляти усі типи, і відрізняється від відомих тим, що забезпечує принцип проактивності та базується на механізмах машинного навчання з підкріпленням.

Запропонований метод ідентифікації шпигунського програмного забезпечення використовує аналіз поведінки програмного забезпечення в комп'ютерних системах.

Метод ґрунтується також на аналізі даних із залучення апарату машинного навчання, зокрема навчання з підкріпленням, який оперує з поняттями значень стабільності для виявлення ШПЗ.

Запропонований метод, використовує рівняння отримання нової інформації, здійснює обчислення величини впливу кожної з властивостей програмного забезпечення в потрібній категорії, а завдяки ефективності стабільності EAX, значення присвоюється до нього в якості нагороди.

Розглянемо основні кроки методу ідентифікації шпигунського програмного забезпечення в комп'ютерних системах:

1. Відстеження поведінки виконуваних файлів в комп'ютерній системі.
2. Обчислення значення стабільності.
3. Відбір ознак, що можуть свідчити про присутність шпигунського програмного забезпечення в комп'ютерних системах за допомогою рівняння отримання нової інформації.
4. Обчислення значення нагороди на основі значення стабільності EAX.
5. Побудова шаблону ідентифікації шпигунського програмного забезпечення.
6. Аналіз екземпляру ПЗ.
7. Обчислення значення стабільності досліджуваного екземпляру ПЗ.
8. Адаптація екземпляру файлу з отриманими значеннями стабільності для порівняння з шкідливими і корисними екземплярами файлів на основі значень стабільності відомого шпигунського програмного забезпечення.

Розглянемо детальніше кроки методу.

Збір інформації. Згідно з термінологією машинного навчання з підсиленням поняття необхідним є обчислення значення винагороди. З цією метою необхідним є використання рівняння приросту інформації. Беручи до уваги, що в цьому рівнянні співвідношення впливу кожного з атрибутів вказано відповідно до результату, отримане значення за допомогою цього рівняння являє собою значення між нулем і одиницею [20]. Чим ближче це значення до числа 1, тим більше впливу має функція на отримання правильної відповіді.

Приймемо, що якщо p_i – це ймовірність того, що множник даних D належить до класу C_i , значення C_i оцінюється $|C_i, D| / |D|$. Очікується, що необхідна інформація щодо множини в D обчислюється за допомогою рівняння [20]:

$$\text{Info}(D) = - \sum_{i=1}^m p_i \log_2(p_i). \quad (1)$$

Дані потребують класифікації на D (після використання A для поділу D на V секції). Тоді класифікація об'єктів дослідження здійснюватиметься за формулою: [21]:

$$\text{Info}_A(D) = \sum_{j=1}^y \frac{|D_j|}{|D|} \times I(D_j). \quad (2)$$

Функція отримання нової інформації – це різниця між початковими необхідними даними та новими необхідними даними.

Іншими словами, отримання (A) означає ступінь впливу, на який впливає збільшення функції A [22]:

$$\text{Gain}(A) = \text{Info}_A(D). \quad (3)$$

Застосування навчання з підкріпленням для ідентифікації шпигунського програмного забезпечення. Механізм навчання з підкріпленням полягає в тому, щоб дізнатися, як стан досліджуваного об'єкту відображається в дію, коли є тільки один прояв.

У процесі навчання з підкріпленням системи для ідентифікації шпигунського програмного забезпечення здійснюється дослідження фактора, що зазнає випробувань та обчислення помилок для вивчити оптимальні дії, які слід здійснити в кожному стані досліджуваного об'єкта та для досягнення мети.

Згідно теорії машинного навчання з підкріпленням, фактор вибирає дію у будь-якому випадку, в якому, можливо, що агент отримує новий стан або винагороду [23].

Повторюючи цей процес, агент дізнається, що найкраща дія для отримання максимального очікування – це накопичення винагород. Загалом, в кожному повторенні агент змінює розуміння поточних станів $s, s \in S$, вибір дії $a, a \in A$, і, ймовірно, його стан і отримує нагороди $r, r \in R$.

У цьому процесі, щоб отримати корисний досвід щодо стану, агента, перехід стану і винагороди, агенту потрібні оптимальні дії та оцінка системи, що відповідає процесу навчання [23].

На рис. 1 наведений процес навчання системи згідно теорії машинного навчання з підкріпленням.

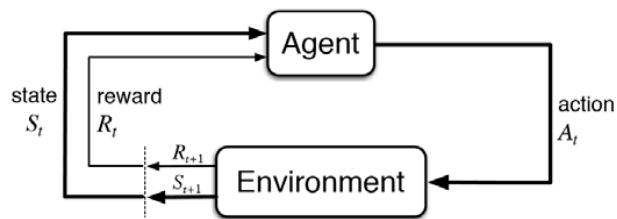


Рис. 1. Процес навчання з підсиленням

У запропонованому методі ідентифікації шпигунського програмного забезпечення застосовано метод навчання з підкріпленням – алгоритм часової різниці.

Алгоритм часової різниці має суттєві переваги щодо навчання, оскільки не вимагає попереднього вивчення поведінки шпигунського програмного забезпечення, має високі можливості в покроковому обчисленні адитивності й ідентифікації [15]. У цьому методі агент намагається оцінити функцію значення, виходячи з моменту нарахування моменту та оціненої значення винагороди для наступного стану досліджуваного об'єкта – найпростішим і найбільш корисним часовим різницевою методом навчання – методом Q навчання.

Метод Q навчання використовує досвід, отриманий від будь-якого переходу стану в середовищі, і оновлює значення, пов'язані з кожним станом, в таблиці під назвою Q.

Така таблиця містить стан і дію $Q(S, a)$ для кожної пари та для кожного стану перехід від S_t до S_{t+1} та отримання нагороди r_{t+1} , оновлює кількість Q у таблиці відповідно до рівняння:

$$Q(S_t, a_t) = Q(S_t, a_t) + \alpha[r_{t+1} + \gamma \max_a Q(S_{t+1}, a_t) - Q(S_t, a_t)]. \quad (4)$$

Коли агент вибирає дію a у стані S , а потім переходить у стан S' , використовує максимальне значення Q наступного стану, тобто максимальне $Q(s', a')$ для оновлення значення Q в цей момент, тобто $Q(S, a)$. У цьому алгоритмі, якщо будь-яка дія a в будь-якому випадку, вибирається нескінченний час у нескінченному запуску програми, а також якщо параметр α добре відрегульований, значення Q зблизяться з Q^* з ймовірністю α 100 %. У запропонованому методі ідентифікації шпигунського програмного забезпечення використовується метод тимчасових різниць, який застосовує лише зворотний зв'язок щодо отримання винагороди за краще навчання та виявлення ШПЗ.

Таким чином, метою вибору навчання з підкріпленням для вирішення проблеми ідентифікації шпигунського програмного забезпечення є використання зворотного зв'язку щодо отримання винагороди, яка може краще виражати більш впливові дані та призводить до виявлення з високою точністю.

Аналіз стану досліджуваного об'єкта. Стан відноситься до умов, що впливають на прийняття рішень агента в навколишньому середовищі, такі як місце розташування агента в навколишньому середовищі.

Запропонований метод оперує двома стани досліджуваного об'єкта для ідентифікації:

1. S1: Коли значення стабільності регістра EAX змінюються на 2 після виклику.
2. S2: Коли значення стабільності регістра EAX не змінюється на 2 після виклику.

Необхідно вказати область застосування двох станів. $S = \{S_i, | i=1, 2\}$.

Коллекція передбачуваного стану має властивості ланцюгів Маркова. Якщо стан має властивість Маркова, це означає, що він містить в собі поточний стан всієї інформації, пов'язаної з минулим і сучасним, які необхідні для продовження навчання.

Аналіз дій досліджуваного об'єкта. Система ідентифікації ШПЗ виконує такі дії:

1. Стабілізація змін, що призводять до створення шпигунського програмного забезпечення.
2. Стабілізація змін, які не призводять до створення шпигунського програмного забезпечення.

Нагорода і покарання. Нагорода і покарання – це зворотний зв'язок, який отримав агент з навколишнього середовища, і є реакцією середовища, пов'язана з дією системи на нього.

Цей зворотний зв'язок буде реалізовуватися наступним чином для системи ідентифікації ШПЗ:

1. Коли значення функції приросту більше, ніж середнє значення, вона буде отримувати винагороду по відношенню до певної формули для отримання винагороди.
2. Коли сума функції приросту нижче, ніж середнє значення, вона не буде отримувати будь-якої винагороди, які розглядається в якості покарання.

Функція цінності. Функція цінності являє собою суму оптимальності дії в стані, в порівнянні з іншими діями в інших станах. В результаті, ця функція також залежить як від стану, так і від дії. Наприклад, $Q(s, a)$ показана $Q(s_1, a_2)$ від суми оптимальності a_2 дії в стані s_1 . Функція цінності може допомогти нам вибрати більш оптимальні дії в поточному стані. У процесі навчання, більш оптимальні дії набудуть більш високу якість у порівнянні з іншими діями.

Застосування алгоритмів навчання часової різниці. Запропонований метод оперує двома основними методами реалізації алгоритмів навчання: алгоритм Q-навчання та алгоритм SARSA.

Алгоритм Q-навчання часто має більш оптимальне прийняття рішень в порівнянні з алгоритмом SARSA, в той час як SARSA має більш стабільне прийняття рішень, а також може отримати більше нагород.

Розглянемо етапи алгоритму Q-навчання:

1. Значення $Q(a, s)$ вважається рівним нулю для всіх станів і дій.
2. Отримуємо поточний стан системи.
3. Вибираємо дію на основі алгоритму.
4. Виконуємо дію в навколишньому середовищі, а потім чекаємо нагороди нашої дії.
5. Отримуємо новий стан системи (S'), до якої система переходить після виконання дії.

Оновлюємо кількість $Q(a, s)$ на основі рівняння:

$$Q(S_t, a_t) = Q(S_t, a_t) + \alpha [r_{t+1} + \gamma \max_a Q(S_{t+1}, a_t) - Q(S_t, a_t)], \quad (5)$$

де α – значення від нуля до одиниці, яке називається швидкістю навчання, і визначає швидкість навчання.

Очевидно, що чим більше значення α , тим більша швидкість навчання; Проте треба сказати, що велика кількість α робить навчання нестійким.

У більшості додатків величина 0,1, як правило, рекомендується для швидкості навчання, і ми використовували це значення. γ – це значення між 0 і 1, яке називається коефіцієнтом дисконтування, і він перешкоджає розбіжності функції якості під час навчання.

Значення γ зазвичай вважається рівним 0,9. У нашому методі, оскільки ми використовували лише величину винагороди, коефіцієнт дисконтування вважався рівним нулю.

$Q_{\max}(s', a')$ – це якість найбільш оптимальної дії в новому стані системи, а саме S' . Іншими словами, це величина максимальної якості в s' стані. Нарешті, перевіряється, чи досягає агент своєї мети чи ні (тобто, чи це зловмисне програмне забезпечення чи ні). Якщо відповідь була негативною (тобто це було зловмисне програмне забезпечення), алгоритм повторюється на третьому етапі на основі стану S' . В іншому випадку (тобто програмне забезпечення є доброякісним) алгоритм припиняється.

Експериментальні дослідження методу ідентифікації шпигунського програного забезпечення.

З метою проведення експериментальних досліджень було згруповано за категоріями усі типи досліджуваного ШПЗ. Набір даних включає в себе 551 зразок ШПЗ [24].

Значення кількості зразків шпигунського ПЗ, задіяних експериментах представлено в таблиці 1.

Зібрані дані представляють собою файли, у яких кожен двійковий файл запускається в контрольованому середовищі, а також звіти під час виконання записуються на основі системи інтерфейсу прикладного програмування (API).

Інструмент WinAPI32 використовується для реєстрації виклику програмного забезпечення всіх бінарних файлів API, що містять вміст стабільності і повертається значення API.

Кожен файл працює протягом визначеного інтервалу часу. Цей інтервал вважається дві хвилини, що триває дві хвилини максимум, або час його виконання закінчується до завершення двох хвилин.

Причина вибору двоххвилинного інтервалу є те, що шкідливі програми мають можливість запуститись, і навіть якщо вони мають корисне навантаження, вони також працюють.

WinAPI32 повідомляє про стабільність до і після виклику кожного бінарного файлу.

Однак, виконуваний файл не має можливості отримати зміст стабільності і пам'яті. Отже, звільнення і зміна значень деяких з стабільності досягаються в бінарному режимі.

Таблиця 1

Значення кількості зразків шпигунського ПЗ, задіяних експериментах

№ з/п	Тип шпигунського ПЗ	Значення кількості зразків, задіяних експериментах
1	Інтернет-реєстратори URL-адрес	37
2	Кейлогери	44
3	Екранні реєстратори	23
4	Чат реєстратори	45
5	Реєстратори електронної пошти	66
6	Реєстратори паролів	43
7	Викрадачі паролів	33
8	Кейлогери та реєстратори паролів	42
9	Рекламні програми (веб-помилки)	29
10	Браузер викрадення	54
11	Модем викрадення	14
12	ПК викрадення	34
13	Інформаційні крадіжки (Infostealers)	55
14	Банківські трояни	32

Зібрані дані представляють собою файли, у яких кожен двійковий файл запускається в контрольованому середовищі, а також звіти під час виконання записуються на основі системи інтерфейсу прикладного програмування (API).

Інструмент WinAPI32 використовується для реєстрації виклику програмного забезпечення всіх бінарних файлів API, що містять вміст стабільності і повертається значення API.

Кожен файл працює протягом визначеного інтервалу часу. Цей інтервал вважається дві хвилини, що триває дві хвилини максимум, або час його виконання закінчується до завершення двох хвилин.

Причина вибору двохвилинного інтервалу є те, що шкідливі програми мають можливість запуснитись, і навіть якщо вони мають корисне навантаження, вони також працюють.

WinAPI32 повідомляє про стабільність до і після виклику кожного бінарного файлу.

Однак, виконуваний файл не має можливості отримати зміст стабільності і пам'яті. Отже, звільнення і зміна значень деяких з стабільності досягаються в бінарному режимі.

Витягуються тільки значення з колекції стабільності, які пов'язані з розрахунками і логічними операціями. Стабільність, яка передає дані або маніпулює стеком, не може бути реалізована, поки їх стабільність буде готувати середовище для обчислень, а їх значення можуть бути найменш репрезентативними для різних форм поведінки програмного забезпечення. Для того, щоб проаналізувати корисні та шкідливі файли потрібно, щоб файл був доступний на шляху його аналізу.

Щоб застосувати запропонований метод, на основі алгоритму спочатку необхідним є класифікація непроаналізованих попередньо даних. З цією метою для кожного з типу ШПЗ присвоюється число. Цей процес присвоєння значень здійснюється відповідно до таблиці 2. Слід зазначити, по відношенню до частоти чисел в кожній категорії, інтервали вказані, як показані в цій таблиці.

На наступному етапі, значення приросту інформації для кожної стабільності окремо отримують в усіх категоріях. Після отримання значень приросту інформації для всіх категорій, отримують середнє значення приросту інформації для кожної категорії.

Завдяки значень приросту інформації для кожної стабільності відносно середнього показника тієї ж категорії, стабільність EAX, яка вище середнього, вибирається в якості винагороди.

Таблиця 2

Класифікація значення регістрів процесора

Інтервал	Категорія
номер 0	0
номер 1	1
номер 2	2
[3 ... 9]	3
[10 ... 99]	4
[100 ... 999]	5
[1000 ... 9999]	6
[10000 ... 99999]	7
[AFFFFFF ... A00000]	8
[BFFFFFF ... B00000]	9
[CFFFFFF ... C00000]	10
[DFFFFFF ... D00000]	11
[EFFFFFF ... E00000]	12
[FFFFFF ... F00000]	13
[FFFFFFFF ... A000000]	14

Таблиця 3 показує приклади середнє значення приросту інформації для типів ШПЗ.

Таблиця 3

Середнє значення приросту інформації кожної категорії

№ з/п	Категорія	Сума приросту інформації	Середнє значення
1	Інтернет-реєстратори URL-адрес	2,0778	0,0865
2	Кейлогери	0,7029	0,1126
3	Екранні реєстратори	2,4265	0,1011
4	Чат реєстратори	4,02837	0,1789
5	Реєстратори електронної пошти	4,3256	0,1802
6	Реєстратори паролів	2,6083	0,1086
7	Викрадачі паролів	4,41201	0,1838
8	Кейлогери та реєстратори паролів	4,3088	0,2512
9	Корисні файли	5,3088	0,2212

Після отримання середнього значення приросту інформації, стабільність EAX, яка отримує винагороду, буде визначатися в кожній категорії; і значення винагороди застосовується відповідно до пропонованого рівнянням.

Обчислення винагород: Нагорода = Середнє значення приросту інформації $\times$ 0,5 $\times$ приросту інформації стабільності EAX.

Причина вибору числа 0,5 у пропонованій формулі полягає в тому, що приріст інформації є значенням від 0 до 1, і є необхідність застосування коефіцієнту так, щоб отримане значення винагороди стало нормальним і збалансованим по відношенню до всіх даних. Наприклад, значення винагороди за стабільність EAX в категорії вірусів розраховується за формулою (5) наступним чином:

Нагорода стабільності EAX = $0,365 \times 0,5 \times 0,0865$, приріст інформації EAX = 0,365, середнє значення приросту інформації категорії ШПЗ = 0,0865, а також, фактор винагороди = 0,5 і, отже: нагорода стабільності EAX = 0,0157.

Для інших груп значення отримують таким же чином, і значення винагороди отримують для цієї стабільності. Після отримання значення винагороди за кожної з даних окремо у всіх категоріях, відповідно до таблиці 5, застосовується нове значення для забезпечення стабільності EAX з використанням навчання з підкріпленням. У таблиці 4 значення нагороди за всі категорії окремо обчислюється, і значення винагороди кожної категорії та пов'язані з нею номери розташовані в рівнянні. Отримане значення замінює попереднє значення в стабільності EAX. У цій таблиці, тільки одне значення відображається в кожній категорії, а решта цифри перевіряються таким же чином. Тепер, після застосування цих змін, дані готові для аналізу.

Таблиця 4

Нове значення реєстра EAX в кожній категорії ШПЗ, використовуючи навчання з підкріпленням

Тип ШПЗ (категорія)	Початкове значення Q (стабільність)	Нове значення Q (нове значення стабільності EAX)
Інтернет-реєстратори URL-адрес	7	6,30157
Кейлогери	12	10,80237
Екранні реєстратори	8	7,20208
Чат реєстратори	9	8,10572
Реєстратори електронної пошти	11	9,90505
Реєстратори паролів	13	11,70231
Викрадачі паролів	10	9,00608
Корисні файли	14	12,60704

Для оцінки ефективності роботи запропонованого методу скористаємося параметрами:

1. TP (true positives) – кількість шкідливих поведінок, класифікованих як шкідливі поведінки (атаки);
2. TN (true negatives) – кількість нешкідливих поведінок, класифікованих як нешкідливі поведінки;
3. FP (false positives) – кількість шкідливих поведінок (атак), класифікованих як нешкідливі поведінки (помилки першого роду, хибні спрацювання);
4. FN (false negatives) – кількість класифікованих атак як нешкідливі поведінки (невиявлення, помилки другого роду).

Для оцінки даних і висновків використовуються чотири метрики.

Чутливість – це відсоток передбачених шкідливих програм, які фактично є шкідливою програмою, яка правильно виявлена:

$$\text{Чутливість} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (6)$$

Специфічність – це відсоток реальних шкідливих елементів, визначених у моделі. Де TP являє собою кількість деструктивних файлів, які належним чином класифіковані, FP – це ряд доброякісних файлів, які помилково класифіковані як шкідливі програми, і FN – це кількість шкідливих файлів, які помилково класифіковані як доброякісні файли. Для виявлення шкідливих програм з великого набору даних, потрібно максимізувати чутливість і специфічність ідентифікації шкідливого програмного забезпечення:

$$\text{Специфічність} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (7)$$

$$\text{Достовірність} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (8)$$

F-міра вважається збіраною основою реалізації для оцінки, яка є комбінацією обох критеріїв. F-міру можна розглядати як зважене середнє значення точності інтерпретації, відгуку, і, як наслідок, високої точності виклику в F-мірі. Достовірність також використовується як критерій вимірювання для правильної ідентифікації зразка зловмисного програмного забезпечення.

$$\text{F-міра} = \frac{2 \cdot \text{Відгук} \cdot \text{Точність}}{\text{Відгук} + \text{Точність}} \quad (9)$$

Результати, отримані від запропонованого методу, представлено в таблиці 5.

Таблиця 5

Результати роботи запропонованого методу

Чутливість, %	Специфічність, %	Достовірність, %	F-міра, %
98,43	96,39	97,55	97,39

Таким чином, запропонований метод продемонстрував можливість ідентифікації шпигунського програмного забезпечення з достовірністю до 97,55 %.

Висновки. В роботі представлено подальший розвитку методу ідентифікації шпигунського програмного забезпечення в комп'ютерних системах, який дозволяє виявляти усі типи, і відрізняється від відомих тим, що забезпечує принцип проактивності та базується на механізмах машинного навчання з підкріпленням. Запропонований метод ідентифікації шпигунського програмного забезпечення використовує аналіз поведінки програмного забезпечення в комп'ютерних системах.

Метод ґрунтується також на аналізі даних із залучення апарату машинного навчання, зокрема навчання з підкріпленням, який оперує з поняттями значень стабільності для виявлення ШПЗ. Запропонований метод, використовує рівняння отримання нової інформації, здійснює обчислення величини впливу кожної з властивостей програмного забезпечення в потрібній категорії, а завдяки ефективності стабільності ЕАХ, значення присвоюється до нього в якості нагороди.

Експериментальні дослідження продемонстрували здатність запропонованого методу до ідентифікації шпигунського програмного забезпечення з високою достовірністю (до 97,55%).

Література

1. Check Point Research. The 2020 Cyber Security Report. Available at: <https://research.checkpoint.com/2020/the-2020-cyber-security-report/> (accessed 25.03.2020).
2. Kharchenko, V., Illiashenko, O., Brezhnev, E., Boyarchuk, A., Golovanevskiy, V.A. (2014). Security Informed Safety Assessment of Industrial FPGA-Based Systems.
3. FBI. Cyber Crime. Available at: <https://www.fbi.gov/investigate/cyber> (accessed 25.03.2020).
4. Лисенко С.М. Методи виявлення бот-мереж в комп'ютерних системах / С.М. Лисенко, К.Ю. Бобровнікова, В.С. Харченко // Сучасні інформаційні системи. – 2019. – Т. 3. № 4. – С. 87–95.
5. Rai A. D., Ward S., Roy S. Warnick, Vulnerable links and secure architectures in the stabilization of networks of controlled dynamical systems. In: Proceedings of the 2012 American Control Conference, Montreal, QC (Canada, 2012). 2012. P. 27–29.
6. Naval S., Laxmi V., Rajarajan M., et al. Employing program semantics for malware detection. IEEE Trans Inform Forens Secur. 2015. Vol.10. No.12. P. 2591–2604. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2015.2469253>
7. Wang S.W., Wang B.S., Yong T., et al. Malware clustering based on SNN density using system calls. Proc 1st Int Conf on Cloud Computing and Security, 2015. P. 181–191. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27051-7_16
8. Wang Z., Fei M., Du D., Zheng M. Decentralized event-triggered average consensus for multi-agent systems in CPSs with communication constraints, IEEE/CAA J. Autom. Sin. 2015. Vol. 2. No. 3. P. 248–257.
9. Liu L., Wang B.S., Yu B., et al. A novel selective ensemble learning based on K-means and negative correlation. Proc 2nd Int Conf on Cloud Computing and Security, 2016. P. 578–588. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48674-1_51.
10. Liu L., Esmalifalak M., Ding Q., Emesih V.A., Han Z. Detecting false data injection attacks on power grid by sparse optimization, IEEE Trans. Smart Grid. 2014. Vol. 5. No. 2. P. 612–621.
11. Liu Y., Xin H., Qu Z., Gan D. An attack-resilient cooperative control strategy of multiple distributed generators in distribution networks, IEEE Trans. Smart Grid. 2016. Vol. 7. No. 6. P. 2923–2932.
12. Zhao Z.Q., Wang J.F., Bai J.R. Malware detection method based on the control-flow construct feature of software. IET Inform Secur. 2014. Vol. 8. No. 1. P. 18–24. <https://doi.org/10.1049/iet-ifs.2012.0289>.
13. Ding D.G., Wei S., Zhang Y., Liu F.E. Alsaadi, On scheduling of deception attacks for discrete-time networked systems equipped with attack detectors, Neurocomputing. 2017. Vol. 219. P. 99–106.
14. Ding D., Shen Y., Song Y., Wang Y., Gen J. Recursive state estimation for discrete time-varying stochastic nonlinear systems with randomly occurring deception attacks, Int. Syst. 2016. Vol. 45. No. 5. P. 548–560.
15. Ding D., Wang Z., Ho D.W.C., Wei G., Observer-based event-triggering consensus control for multi-agent systems with lossy sensors and cyber attacks, IEEE Trans. Cybern. 2017. Vol. 47. No. 8. P. 1936–1947.
16. Cen L., Gates C. S., Si L., et al., A probabilistic discriminative model for Android malware detection with decompiled source code. IEEE Trans Depend Sec Comput. 2015. Vol.12. No.4. P. 400–412. <https://doi.org/10.1109/TDSC.2014.2355839>.
17. Zhang H., Yao D.F., Ramakrishnan N., et al. Causality reasoning about network events for detecting stealthy malware activities. Comput Secur. 2016. Vol. 58. P. 180–198. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2016.01.002>
18. Zhang H., Cheng P., Shi L., Chen J. Optimal denial-of-service attack scheduling in cyber-physical systems, Technical Report, Zhejiang University, 2015. (On-line). <http://www.sensornet.cn/heng/Hengestimation Full.pdf>.
19. Zhang H., Shu Y., Cheng P., Chen J. Privacy and performance trade-off in cyber-physical systems, IEEE Netw. 2016. Vol. 30. No. 2. P. 62–66.
20. Maruthupandi, J., Vimala Devi, K. Multi-label text classification using optimized feature sets. Int. J. of Data Mining, Modelling and Management, 2017. Vol. 9, No. 3, . 237–248.
21. Buffet, O., Dutech, A., Charpillet, F. Shaping multi-agent systems with gradient reinforcement learning, Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2007, Vol. 15, No. 2, p. 197–220.
22. Azhagusundari, B., Thanamani, A.S. Feature selection based on information gain, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), 2013, Vol. 2, No. 2, p. 2278–3075.
23. Morales, E.F. and Zaragoza, J.H. An introduction to reinforcement learning', in Sucar, L.E., Morales, E.F. and Hoey, J. (Eds.): Chapter in Decision Theory Models for Applications in Artificial Intelligence: Concepts and Solutions, 2012, Vol. 19, No. 4, p. 639–668, IGI Global.
24. Canadian Institute for Cybersecurity. Malware dataset, <https://www.unb.ca/cic/datasets/botnet.html> (April 7, 2020).

Надійшла / Paper received: 04.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020

АСПЕКТИ МІГРАЦІЇ ДАНИХ З ЛОКАЛЬНИХ ЦЕНТРІВ ОБРОБКИ ДО ГІБРИДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

У статті розглядаються аспекти міграції даних, що первинно знаходяться в локальних центрах обробки даних, до гібридної інфраструктури. Процес міграції передбачає систему заходів, серед яких розробка автоматизованої системи для синхронізації даних користувачів і врахування особливостей інфраструктури Exchange Server. Така система має проводити інвентаризацію існуючого середовища, робити звіти та конфігурувати компоненти, які приймають участь у міграціях користувачів. Система має відновити всі налаштування користувача, які існували до міграції. Після створення гібридної інфраструктури налаштовуються елементи на глобальному рівні, які будуть застосовані до різних підсистем і поштових скриньок користувачів. Важливими аспектами міграції також є корегування архітектури під специфічні умови підприємства та дослідження списку варіантів проходження пошти в гібридній інфраструктурі (харному середовищі). На дизайн і майбутню конфігурацію гібридної інфраструктури впливають безпосередньо аспекти клієнтського доступу, так як міграція залежно від наземної архітектури може проводитися через один ЦОД або через декілька ЦОДів.

Ключові слова: аспекти міграції даних, автоматизована система, клієнтський доступ, система для міграції, гібридна інфраструктура, хмарні сервіси, Exchange Server, Office 365, центр обробки даних (ЦОД).

V. MIKHALEVSKYI, G. MIKHALEVSKA

Khmelnitskyi National University

ASPECTS OF DATA MIGRATION FROM LOCAL PROCESSING CENTERS TO HYBRID INFRASTRUCTURE

The article considers aspects of data migration, which are initially located in local data centers (LDCs), to the hybrid infrastructure. The migration process involves a system of activities, including the development of an automated system for synchronizing the user data and considering the features of the Exchange Server infrastructure. Such a system should conduct the inventory of the existing environment, make reports and configure the components, involved in user migration. The system must restore all user's settings that existed before the migration. The transport part of the system is analyzed by obtaining data on the components of mail traffic, the application rules of certain actions to mail that moves from sender to recipient, and the rules for collecting information about correspondence and archiving in the archive mailbox. An important aspect of preparing for data migration is the collecting information about how the organization stores all user data and whether there are any policies related to deleting obsolete data. During collecting data about an Exchange Server organization, one of the most important steps is to gather information about how users can connect to the current environment. An important aspect is to test the AutoDiscover service, which is required to configure clients and can be used by Office 365 to connect the enterprise Exchange Server. Because many security aspects are not transferred to the cloud infrastructure during the hybrid configuration and in the process of moving users' mailboxes, migration must be performed manually. The Exchange Server mail system also contains a number of additional elements that cannot be attributed to any standard modules, such as client access, transport or data storage, but still are required data synchronization with the cloud application. After creating a hybrid infrastructure, items are configured (imported) globally, which further will be applied to various subsystems and user mailboxes. Important aspects of migration are also the adjustment of the architecture to the specific conditions of the enterprise and the study of the list of options for the passage of mail in a hybrid infrastructure (good environment). The design and future configuration of the hybrid infrastructure is directly influenced by aspects of client access, as migration depending on the terrestrial architecture can be performed through one (main) data center or through several data centers. The proposed migration system allows many large companies to avoid the complex process of migrating global local infrastructure to the cloud and improves enterprise-level data analysis with automatic data migration management in IT environment with a complex network infrastructure.

Keywords: data migration aspects, automated system, client access, migration system, hybrid infrastructure, cloud services, Exchange Server, Office 365, data center.

Постановка проблеми. На даний час хмарні сервіси все частіше використовуються для потреб підприємств та збереження даних [1]. Тому тема коректної міграції даних з локальних центрів обробки до провайдерів хмарних обчислень є актуальною. Потрібно оцінити існуючу інформаційну систему [2], проаналізувати дані та безпосередньо їхню міграцію в хмарні системи.

Важливим аспектом є побудова найкращого шляху міграції у середовищах, коли компанія має багато офісів, розташованих по всій планеті, де кожний має свої інтернет-канали різної якості. Також необхідно застосувати всі налаштування та параметри, що були в локальному ЦОДі, бо за довгі роки підприємство виробляє велику кількість правил, політик, які добре працювали в локальній інфраструктурі, а після міграції даних їх потрібно перетворювати, а потім визначати відповідні налаштування.

Аспект підготовки до міграції даних полягає в тому, щоб зібрати інформацію про те, як організація зберігає всю інформацію користувачів і чи є які-небудь політики, пов'язані з видаленням застарілих даних. Крім цього, існує велика потреба в переносі налаштувань безпеки, пов'язаних із захистом інформації.

Формулювання цілей статті (Постановка завдання). Для зниження навантаження на працівників та визначення економічної доцільності з точки зору витрат на процес міграції даних необхідно описати всю систему міграції та визначити найважливіші її аспекти. Система має бути такою, що враховуватиме потреби підприємства при інтеграції з Office 365, буде пропонувати і впроваджувати зміни для визначення оптимального шляху потоку даних та планувати перенос даних до хмарної частини. Основним критерієм має бути рішення для процесу міграції з урахуванням сучасного підходу в ІТ-проектах. Для гібридної інфраструктури Exchange Server, яка є наслідком інтеграції корпоративної системи з хмарним сервісом

Office 365, сформулювати рішення, що допомагають перенести фактичні дані користувачів різних видів з локальних центрів у кінцеву інфраструктуру.

Виклад основного матеріалу. Під час міграції даних від локальних центрів до хмарних сервісів необхідно брати до уваги велику кількість вимог, таких як транспортна служба, служби зберігання даних, авторизації і служби доступу до даних, календарі і адресні книги, а також служби безпеки і захисту корпоративних даних. При цьому, необхідно враховувати мережеву інфраструктуру, тому що це може вплинути безпосередньо на період та час міграції, а також інші додаткові дії, що необхідні для забезпечення міграції.

Аналіз транспортної системи. Транспортна частина, зазвичай, вимагає докладної інвентаризації, оскільки у великих організаціях має бути організовано нестандартизований доступ по протоколу SMTP: а) поверхові сканери або сервери моніторингу, які надсилають повідомлення; б) надсилання пошти на спеціальні вузли, які відповідають за пересилання пошти або обмін поштою з партнерами із примусовою аутентифікацією серверів за сертифікатами; в) застосування правил до повідомлень, які переміщуються всередині організації, виходять за межі організації або надходять від зовнішньої організації.

Щоб оцінити всі аспекти транспортної системи, необхідно отримати дані про такі компоненти:

1) **Send connectors** – компонент відправки пошти, інформація отримують на рівні організації [6]. Зазвичай поштовий трафік не потребує особливих змін під час налаштування гібридної інфраструктури, але у випадку специфічної конфігурації відправлення пошти до партнерів деякі сполучні лінії (конектори) доведеться експортувати з наявної організації Exchange Server, після створення нових сполучних ліній у хмарі та застосування до них налаштування з експортованих даних. Щоб отримати всю інформацію по Send connectors, необхідно виконати такий запит:

```
$ExpPath = "C:\ExchData\Export\"
$SendConExpPath = $ExpPath + 'SendConnectors.csv'
$SendConnectors = Get-SendConnector
$SendConnectors | select Identity, Name, AddressSpaces, IgnoreSTARTTLS, RequireOrg, RequireTLS,
SmartHostAuthMechanism, SmartHostsString, TlsAuthLevel, TlsCertificateName, TlsDomain | export:
foreach ($SendConnector in $SendConnectors) {
...$TempName = $SendConnector.name
...$Addressspaces = $sendconnector.addressspaces
...$FileName=$ExpPath+'_SEND_'+$TempName+'.csv'
...$Addressspaces | Export-Csv -Path $file_name -NoTypeInfo
.....}
$SendConnectors | ft Name, addressspaces, requiretls
```

Результатом буде файл з даними в форматі, як зазначено в таблиці 1.

Таблиця 1

Формат даних, представлений по Send Connector

Name	Address Space	Require TLS
Internet	{SMTP*;2}	False
Lotus Notes	SMTP:domino.testvg.it-infrastructures.net	False
...	...	...

В результаті цього запиту у вказаному каталозі буде файл, який містить відомості про всі Send connectors, а також список файлів, що відповідають назві конкретних конекторів, що містять простори імен, які обслуговує даний конектор;

2) **Receive connectors** – компонент, відповідальний за отримання пошти, інформація має бути доступна для зчитування з кожного сервера, який має транспортну роль (застосовне до старих версій Exchange Server) [6]. Отримані об'єкти повинні бути проаналізовані, щоб визначити, чи конектор створено по замовчуванню і чи не було ніяких змін в ньому, після чого все те, що не відповідає налаштуванням по замовчуванню, експортувати, щоб потім мати можливість проаналізувати і, за потреби, застосувати до конекторів, створених у хмарній службі. Щоб отримати всю інформацію по всіх Receive connectors, необхідно виконати запит, результатом якого буде список з іменами, що відповідають іменам серверів, які будуть містити докладні конфігурації всіх конекторів на даному сервері, а також зведений файл зі зведеною таблицею для звіту;

3) **Transport rules** – транспортні правила, які застосовують певні дії до пошти, яка переміщується від відправника до одержувача [4]. Інформація про правила транспортування зчитується на глобальному рівні організації, а також на EDGE-серверах, розташованих в мережі периметра. Зауважимо, що правила транспортування не переміщуються до хмарної служби і вони повинні бути експортовані з наявної організації Exchange Server, піддаватись аналізу, а потім імпортуватися до хмарної організації;

4) **Journal rules** – правила, призначені для збору відомостей про листування та архівування в архівній поштовій скриньці. Ці правила конфігуруються як на глобальному рівні для певних груп користувачів, так і на рівні баз даних поштових скриньок. На цьому етапі необхідно експортувати інформацію з глобального рівня для подальшого аналізу та імпорту до хмарної організації, оскільки існуючі засоби міграції не дають можливості мігрувати цей тип інформації [6]. З цього моменту всі елементи, які

відносяться до транспортної підсистеми, зберігаються в каталозі для експорту в файлової системі у форматі CSV (Coma Separated Value). Там же знаходяться звіти, які мають розширення TXT.

Аналіз даних користувачів поштової системи. Етап збору інформації про дані користувачів включає в собі не лише збір статистичних даних поштових скриньок користувачів, а й відомості про ресурсні поштові скриньки і спільні папки. Крім усього іншого, необхідно зібрати інформацію про те, як компанія керує інформацією користувачів, та яким є підхід до застарілої інформації.

Для того, щоб зібрати загальну статистику про обсяг даних користувачів першим етапом необхідно з'ясувати, які бази даних існують в організації і як вони розподіляються по IT-інфраструктурі всередині організації. Для цього ми можемо використовувати стандартний запит по базах даних і визначаємо додатковий параметр, який вказує на якому сервері бази даних активні. Після отримання інформації про розподіл баз даних, маємо змогу запустити циклічний запит для пошуку поштових скриньок в кожній базі даних і збору статистичних даних по них. Такий підхід дозволить зробити звіт, який відображає не тільки інформацію про конкретну поштову скриньку, але і отримати зведені відомості по кожному з Центрів Обробки Даних відносно загального обсягу інформації. На підставі отриманої інформації, буде легко обчислити, скільки часу знадобиться для міграції даних користувачів і як міграцію цих даних поділити на етапи [4]. Як наслідок, маємо змогу проаналізувати, в якому сайті Активного каталогу (Active Directory – AD) знаходиться кожна поштова скринька. Цей звіт буде корисним в майбутньому, якщо міграцію поштових скриньок заплановано проводити не через один ЦОД, а паралельно через декілька ЦОДів.

Ще один аспект підготовки до міграції даних полягає в тому, щоб зібрати інформацію про те, як організація зберігає всю інформацію користувачів і чи є які-небудь політики, пов'язані з видаленням застарілих даних (наприклад, поштові повідомлення старше 5 років). Це питання слід уточнити, оскільки елементи конфігурації не переносяться автоматично до хмарної служби. Для досягнення цієї мети нам потрібно вивантажити з конфігурації Exchange Server інформацію про всі елементи Retention Tag, а також інформацію про те, з якими елементами Retention Policy вони пов'язані.

Зібрані дані можливо буде спершу відтворити у хмарній інфраструктурі, а після міграції користувачів також можна застосувати до вже перенесених поштових скриньок. Останнім у цьому сценарії залишилось ідентифікувати і визначити на якого користувача які політики збереження даних застосовуються.

Другою немаловажною частиною аналізу збереження даних є Спільні папки. У багатьох організаціях вони є рудиментом старої інфраструктури, коли організація мала змогу зберігати там корпоративні документи, щоб забезпечити швидкий пошук необхідних даних, а також організувати порівняно недорогий і надійний інструмент автоматичної реплікації даних між різними відділеннями (офісами). В останніх версіях Exchange Server реплікації даних більше не підтримується, але дані, які організація може зберігати в спільних папках, можуть бути використані, а обсяг даних може бути критично великим [2].

Для того, щоб підготуватися до міграції спільних папок в хмарну інфраструктуру, необхідно також проаналізувати, який обсяг даних у якому ЦОД зберігається. Для цього потрібно зібрати статистичні дані про обсяги поштових скриньок, призначених для зберігання даних спільних папок (Public Folder Mailboxes) та ідентифікувати їх в ЦОД. Слід зазначити, що коли ми аналізуємо Спільні папки, необхідно також проаналізувати наявність обмежень по кожній з папок та з'ясувати, чи є у будь-якої з папок поштова адреса, яка асоціюється з нею. Результати, отримані на даному етапі, необхідно буде звірити пізніше, після міграції Спільних папок, що є критичним для багатьох організацій.

Аналіз клієнтського доступу до системи. Під час збирання даних про організацію Exchange Server одним з найважливіших етапів є збір даних про те, як користувачі можуть підключатися до поточного оточення. На сьогодні Exchange Server пропонує наступні варіанти підключення:

- MAPI – Mail Application Program Interface, який є протоколом, що інкапсульовано до протоколу HTTPS і працює по порту TCP-443. Даний протокол є найбільш бажаним, оскільки він є найлегшим та функціональним водночас. Однак він підтримується лише останніми версіями Outlook;

- Outlook Anywhere, або як його ще раніше називали, RPC over HTTPS. За функціоналом він такий самий як і попередній протокол, хоча значно важчий і повільніший за рахунок того, що він використовує ще один рівень інкапсуляції. Протокол верхнього рівня MAPI інкапсулювався в RPC (раніше рідний протокол Exchange Server), після чого інкапсулювався в HTTPS, задіявши вбудовану у Windows службу RPC-Proxy (RPC over HTTPS Feature). Даний протокол завершує використання в нових версіях Exchange Server та існує лише для підтримки старих клієнтів Outlook. Протокол також працює по порту TCP-443;

- допоміжним протоколом для роботи клієнта Outlook є протокол завантаження Оффлайнної Адресної Книги – OAB (Offline Address Book). Даний протокол просто дозволяє клієнту скачати групу файлів, які є кешем адресної книги на випадок недоступності Інтернет (порт TCP-443);

- Active Sync – протокол, призначений для підключення та роботи з Exchange Server з мобільних пристроїв. Цей протокол дозволяє мобільним пристроям працювати з поштою, календарями, адресною книгою, особистими правилами і, звичайно, працювати з Спільними папками. Протокол також дозволяє керувати мобільними пристроями та застосовувати політику безпеки для них, щоб мати змогу захистити корпоративну інформацію на мобільних пристроях. Цей протокол працює, як і попередні протоколи, поверх протоколу HTTPS, а, отже, покладається на порт TCP-443;

- протокол EWS (Exchange Web Services) — це універсальний інтерфейс підключення до Exchange Server для розробників та сторонніх додатків, наприклад, Skype For Business Server використовує його для

отримання інформації про одержувачів Exchange Server. Він також використовується клієнтами Outlook для отримання інформації про зайнятість тих чи інших ділянок зібрання (Free/Busy) і отримувати впливаючі підказки Mail Tips. Протокол працює як розширення протоколу HTTPS;

- для тих користувачів, які не мають поштового клієнта, є протокол, який дозволяє підключати і працювати з поштою через звичайний браузер – Outlook Web Application (OWA). Цей протокол дозволяє користувачеві не тільки повноцінно працювати з усіма функціями поштової скриньки, але і робити це без Інтернету – оффлайнова робота (підтримується не всіма браузерами);

- нестандартними протоколами підключення до Exchange Server є протоколи POP3 та IMAP4. Обидва протоколи вкрай лімітовані по функціоналу і є вразливі з точки зору безпеки. Протоколи використовують для безпечного підключення портів TCP 995 та 993 відповідно. Дані протоколи призначені виключно для отримання поштових повідомлень і відправки повідомлень. Вимагається протокол SMTP, який для клієнтів працює на стандартному TCP порті 587. За умовчанням, ці протоколи вимкнено, і, якщо вони використовуються організацією, вони повинні бути ввімкнені в Office 365 і налаштовані відповідно (наприклад, для того, щоб деякі пріоритетні додатки мали можливість завантажити пошту з Exchange Server);

- для автоматичного налаштування поштових клієнтів використовується протокол AutoDiscover, який дозволяє клієнту отримати параметри підключення до Exchange Server, що значно спрощує налаштування клієнтської частини. Даний протокол працює так само поверх HTTPS та підтримується всіма клієнтами Outlook та значною кількістю Мобільних клієнтів, працюючими за протоколом ActiveSync.

При оцінюванні інфраструктури Exchange Server необхідно зняти параметри та налаштування зі всіх протоколів, тому що: а) частина протоколів не переноситься, як наприклад POP3 та IMAP4; б) частина протоколів використовується хмарним сервісом для підключення до Exchange Server організації (протокол EWS) [6]; в) протокол OWA потребує ще і ретельного перенесення політик, застосованих до WEB додатків, призначених для браузерів.

Параметри всіх протоколів та пов'язаних з ними об'єктів мають бути експортовані, а також оформлені у вигляді табличних звітів для подальшого аналізу, після чого багато отриманих даних будуть доступні як параметри підключення до мережі Exchange Online для організації Exchange Server, а також у якості параметрів конфігурації для клієнтів POP3 та IMAP4, які, як відомо, не мігрують в Office 365.

Збір інформації про підключення починається із зібрання інформації про протоколи, які можуть використовувати Office 365 для підключення до внутрішньої інфраструктури Exchange Server. Для цього необхідно збирати параметри таких протоколів, як MAPI та Outlook Anywhere, але передумовою є те, що протокол повинен мати можливість зовнішнього з'єднання із сервером Exchange Server. Таким чином, аналізуємо лише ті протоколи, де параметр External URL не має порожнього значення. Якщо цей параметр містить порожнє значення, це означає, що підключення до цього сервера із зовнішнього світу неможливе. Результати також повинні бути проаналізовані на предмет того, на яких сайтах Active Directory знаходяться сервери, відповідальні за обслуговування даних з'єднань. Такий підхід дозволить в подальшому визначити, які поштові скриньки і через які сервери зручніше мігрувати до Office 365 (якщо організація має більше одного підключення до Exchange Server з Інтернету).

Всі протоколи працюють на захищеному каналі HTTPS. Таким чином, для ініціалізації безпечного підключення потрібен цифровий сертифікат. Для того, щоб Office 365 мав змогу прийняти цей сертифікат для встановлення безпечного з'єднання, цей сертифікат має відповідати низці вимог [4, 6]: а) сертифікат повинен бути виданий комерційним центром сертифікації, якому довіряють сервери у ЦОДах Microsoft; б) поле Subject або Subject Alternative Name (SAN) має містити ім'я, яке відповідає Fully Qualified Domain Name (FQDN), ім'я сервера із зовнішнього атрибуту External URL, який було видобуто на попередньому кроці; в) одна з цілей сертифікату повинна бути Server Authentication; г) сертифікат має бути дійсним з точки зору терміну служби; д) сертифікат не повинен бути відкликаний центром сертифікації, що його видав. Тому, щоб отримати всі зазначені відомості, необхідно отримати параметри сертифіката з кожного можливого зовнішнього підключення та зберегти його як звіт.

Важливим аспектом є перевірка служби Autodiscover, яка потрібна для налаштування клієнтів і може використовуватись Office 365 для підключення до корпоративного Exchange Server. Для того, щоб отримати параметри цієї служби необхідно так само, як і на попередніх кроках, вивантажити параметри Autodiscover і відповідні сертифікати з їх параметрами.

Аналіз елементів безпеки. Exchange Server, як і багато інших продуктів, містять ряд компонентів, відповідальних за безпеку. Головна мета компонентів безпеки є: а) захист даних користувача від видалення; б) захист корпоративних і персональних даних від витоку; в) захист доступу до поштової системи від зовнішнього світу через веб-інтерфейс; г) захист інформації на мобільних пристроях; д) захист Exchange Server від змін конфігурації. Практично всі перераховані аспекти безпеки не переносяться до хмарної інфраструктури під час гібридної конфігурації та в процесі переміщення поштових скриньок користувачів, і тому міграція має виконуватися вручну. Першим елементом безпеки є In-Place Hold Policy, який дозволяє на корпоративному рівні визначати, в яких поштових скриньках повинні утримуватись дані, за якими критеріями і на який період. Цей елемент потрібен для організацій, які мають сумніви в тому, що працівник може видалити всю інформацію зі своєї поштової скриньки перед тим, як буде звільнений. Використовуючи ж дані політики, служба безпеки може позначити всі або деякі повідомлення відповідно до певних критеріїв і вказати, що після видалення користувачем повідомлення буде зберігатися протягом деякого часу або

нескінченно довго. Цей лист буде доступний людині з відповідними дозволами. Далі експортують усіх користувачів з інформацією про те, яким чином у них встановлена пошта на утримання.

Наступний елемент безпеки в Exchange Server є Data Loss Prevention (DLP) Policies (Політики захисту витоку інформації) [5, 6]. Цей елемент є частиною транспортної системи і здатний аналізувати повідомлення не тільки під час переїзду, але і в процесі введення повідомлення в Outlook, повідомивши користувачеві, що він планує відправити лист з контентом, який являє собою секретну інформацію. Варто також зауважити, що ці політики можуть містити як регулярні вирази, налаштовані адміністратором, так і зразки документів, які система сама розкладе на набір регулярних виразів, а потім виконає порівняння з вкладенням на його «подібність» з вираженням у відсотковому співвідношенні. Особливу увагу треба звернути на те, що політики DLP самі по собі є контейнером для правил транспортування а, отже, працювати безпосередньо з ними не видається можливим, але вони можуть бути експортовані як набір правил у файлі XML.

Слід також зазначити, що ці політики можуть містити різноманітні словники та підказки, які також повинні бути експортовані і збережені в файлах, які можуть бути імпортовані в хмарну інфраструктуру.

На етапі аналізу доступу до Exchange Server через WEB-інтерфейс необхідно проаналізувати та експортувати політики захисту WEB-додатків (Outlook Web Application Policy). Дані політики визначають, які дії можуть виконувати користувачі, підключившись до Exchange Server за допомогою браузера WEB-інтерфейсу. Також за допомогою даних політик можна визначити, з яким типом корпоративних даних може працювати користувач. Елемент безпеки на Exchange, що відповідає за захист даних на мобільних пристроях, називається політикою мобільних пристроїв. Цей елемент керує тим, які дані завантажити на мобільний пристрій, і які функції пристроєм доступні для кінцевого користувача (наприклад, заборона пересилки повідомлень, заборона передачі даних через Bluetooth або відмова в доступі до вбудованої камери, щоб запобігти можливості зробити знімок з корпоративних моніторів або документів). Для того, щоб зняти подібний елемент необхідно виконати скрипт, який експортує детальну інформації про політики з усіма параметрами, а також виконає експорт всіх користувачів з інформацією про те, яка політика на них застосовується.

Аналіз інших елементів. Поштова система Exchange Server також містить ряд додаткових елементів, які не можна віднести до будь-яких стандартних модулів, таких як клієнтський доступ, транспорт або ж зберігання даних, однак все одно вимагають синхронізації даних з хмарним додатком.

До таких елементів можна віднести: а) адресні списки; б) офлайново адресні книги; в) політики адресних книг; г) динамічні групи; д) адресні списки. Дані елементи або не переносяться в хмарну інфраструктуру, або взагалі не існують, як у випадку з динамічними групами розсилки. Отже, всі зазначені елементи повинні бути експортовані для подальшого аналізу і розуміння, що можна буде просто імпортувати в Office 365, а що доведеться замінювати альтернативними рішеннями за допомогою скрипта [6].

```
$ExpPath = "C:\ExchData\Export"
```

```
$DYNRep = $ExpPath+'DYN_GROUPS.csv'
```

```
Get-DynamicDistributionGroup | Select ALias, DisplayName, Notes, RecipientFilter, RecipientFilter |  
Export-Csv -Path $DYNRep -NoTypeInfo
```

Динамічні групи залишаються для дослідження внутрішньою службою фахівців, так як повного аналогу даного об'єкта в хмарній частині інфраструктури не існує. Єдиним аналогом можуть бути групи Office 365. Однак цей об'єкт не є прямим аналогом і визначення динамічності не відповідають локальним (наприклад, в хмарній інфраструктурі немає такого поняття як Organizational Units), а, отже, необхідно провести ручне дослідження.

Адресні списки, так само, як офлайнові адресні книги є виключно об'єктом окремої Exchange організації. В гібридній інфраструктурі по суті співіснує дві і більше організації, не маючи загального Активного каталогу (Активний Каталог з локальної організації синхронізує дані в хмарну службу каталогів Azure Active Directory). Такі об'єкти як адресні списки не синхронізуються, так як в локальній інфраструктурі їх визначення знаходиться в розділі Configuration Активного Каталогу. Даний розділ навіть не синхронізується і, більш того, за замовчуванням робота з ними заблокована. Єдиною, що є майже однаковою, то це Глобальна Адресна Книга (GAL). Це пов'язано з тим, що її визначення і в локальній, і в хмарній службі просте – «відображати всіх отримувачів Exchange Server». Таким чином, якщо вона синхронізує всі облікові записи користувачів з локального AD в Хмарний, то і GAL буде однаковою. Адресні списки зберігають в собі визначення запитів, які дозволяють вибрати з Глобальної Адресної Книги деяку кількість отримувачів (за якимось критерієм). Однак, і в хмарній, і в локальній організаціях Exchange Server є ряд стандартних адресних списків, які створюються за замовчуванням. Тому експорт скриптом повинен виключати такі адресні списки. Такий скрипт аналізує експортований адресний список на сумісність з Office 365 і, якщо даний адресний список несумісний, він інформує про це оператора і експортує визначення даного адресного списку в окремий файл.

Офлайнова адресна книга необхідна користувачам, які працюють на клієнті Outlook і програмному пакеті Microsoft Office Suite. Основне призначення даного об'єкта полягає в тому, щоб користувач міг використовувати адресну книгу підприємства в той час, коли немає з'єднання з Exchange Server. За замовчуванням в Exchange Server створюється офлайнова книга за замовчуванням "Default Offline Address Book" і, якщо організація невелика, то нею всі можуть користуватися, так як вона не буде великого розміру. Однак, якщо в організації Exchange зберігаються дані про тисячі користувачів з фотографіями та сертифікатами для шифрування пошти, розмір такої книги може займати кілька гігабайт. З метою

зменшення розміру обсягу переданих і збережених даних на клієнтських робочих станціях створюють додаткові офлайнні адресні книги, які зберігають інформацію тільки про деяких одержувачів (наприклад, з даного регіону). З цього випливає, що необхідно відтворити всі офлайнні адресні книги організації в хмарній інфраструктурі, після чого застосувати їх на переміщені в хмару поштові скриньки, відповідно до їх налаштувань в локальній інфраструктурі.

Політики адресних книг є останнім елементом, який пов'язаний з адресними списками. Даний тип об'єкту дозволяє зв'язати воедино різні типи даних, такі як адресні списки, офлайнні адресні книги, списки переговорних кімнат і застосувати до профілю користувача, тим самим ми можемо визначити, які адреси користувач зможе бачити онлайн, а які в офлайн. Повноцінне перенесення потребує експорту даних політик, а також інформації про те, на які поштові скриньки вони застосовуються. Наостанок, необхідно експортувати інформацію про поточний стан інфраструктури Exchange Server. Щоб отримати таку інформацію можна звернутися до вбудованого API, який дозволяє з'ясувати як інформацію верхнього рівня, так і детальну інформацію щодо кожного компонента кожної підсистеми на найнижчому рівні. В даному випадку виникає завдання витягти тільки інформацію верхнього рівня і при аналізі, якщо буде потрібно, розслідувати проблемні причини на більш низьких рівнях, виконавши звернення до того ж інтерфейсу за допомогою скрипта. Після того, як дані об'єкти були експортовані, їх необхідно вивчити на предмет критичних помилок, з'ясувати, до яких компонентів належать дані помилки і виконати усунення несправності. Після того, як всі несправності будуть усунені, можна переходити до наступної стадії проекту – створення гібридної інфраструктури.

Формування звіту про знайдені елементи інфраструктури поштової організації. По закінченню обробки інфраструктури Exchange Server, в обумовленому каталозі буде збережено два типи даних: 1) дані, експортовані з поточної інфраструктури, які необхідно буде імпортувати в хмарну інфраструктуру. Звіт про дані у вигляді набору таблиць, який можна проаналізувати і зробити свої корективи; 2) дані, які будуть містити статистику за обсягом призначених для користувача даних з поділом по Центрах обробки даних. Звіт про стан всієї інфраструктури (верхній рівень). Після формування всіх даних можна переходити до наступного етапу – обліку потреб підприємства в умовах майбутньої гібридної конфігурації.

Після того, як вся інвентаризація проведена, а дані з поточної конфігурації Exchange Server експортовані, можна встановлювати первинне налаштування гібридної інфраструктури і переносити елементи поточної конфігурації, щоб до моменту перенесення призначених для користувача даних інфраструктура була в робочому стані.

Первинна конфігурація гібридної інфраструктури виконується в двох основних режимах.

1. Для швидкого перенесення призначених для користувача даних в хмару. У цьому випадку між локальною організацією Exchange Server і хмарною службою Office 365 налаштовується виключно рух пошти. Федеративних довірчих відносин між організаціями не встановлюється. Така конфігурація підходить виключно під підприємств малого бізнесу.

2. Для великих підприємств необхідно встановлювати повноцінні федеративні довірчі відношення. У цьому випадку встановлюється не тільки рух повідомлень між локальною організацією Exchange Server і хмарною службою Office 365, але і встановлюється довіре відношення між визначеним Exchange Server, якого опубліковано в інтернет, і хмарною інфраструктурою на рівні служби EWS. Таким чином, хмарний сервіс зможе комунікувати з локальною організацією Exchange Server через WEB API, завдяки чому користувачі, що знаходяться в хмарному сервісі, можуть перевіряти стан зайнятості в календарях користувачів, чії поштові скриньки знаходяться в локальній інфраструктурі і навпаки. Так само, саме через цю федерацію встановлюється делегування дозволів на загальні поштові скриньки з обох частин гібридної інфраструктури.

Компанія Microsoft надає можливість налаштування первинної гібридної інфраструктури виключно за допомогою Hybrid Configurations Wizard (HCW), зразок інтерфейсу відображено на рисунку 1, який досить простий у використанні: а) необхідно зробити попереднє налаштування синхронізації AD для всіх користувачів, які мають поштові скриньки, а також облікові записи всіх ресурсних поштових скриньок і груп розсилки, які використовуються Exchange Server; б) обов'язково на сервері, який буде використовуватися для прямої федерації, повинен бути встановлений комерційний сертифікат для можливості ініціювати HTTPS-з'єднання.

Перенесення елементів конфігурації в хмарну частину гібридної інфраструктури. Після того як ми створили гібридну інфраструктуру, необхідно спочатку налаштувати (імпортувати) елементи на глобальному рівні, які потім будуть застосовані до різних підсистем і поштових скриньок користувачів. Перед початком імпортування необхідно встановити підключення із середовища PowerShell до Exchange Online, як зазначено нижче [4, 6]:

```
$UserCredential = Get-Credential
$Session = New-PSSession -ConfigurationName Microsoft.Exchange -ConnectionUri
https://outlook.office365.com/powershell-liveid/ -Credential $UserCredential -Authentication Basic -
AllowRedirection
Import-PSSession $Session -DisableNameChecking
```

Далі можна створювати елементи.

On-premises Exchange Server Organization

☒ Detect the optimal Exchange server

EX2016SRV1	
Domain	exchangeserverpro.net
Version	Version 15.1 (Build 225.42) RTM StandardEvaluation Edition
Roles	Mailbox, ClientAccess

☐ Specify a server running Exchange 2010, 2013 or 2016

Exchange Hybrid setup requires a connection to an Exchange 2010, 2013 or 2016 server in your environment to perform management tasks. On Exchange 2010 or 2013 this must be an server in the Client Access server role.

Client Access server:

EX2016SRV1.exchangeserverpro.net

Рис. 1. Зразок інтерфейсу конфігурування гібридної інфраструктури

Transport Rules. У першій частині транспортні правила були експортовані як колекція об'єктів. Завдяки тому, що хмарний Exchange Server має практично таку ж архітектуру, отже, і інтерфейс управління в середовищі PowerShell, збережені дані можна імпортувати в Exchange Online. Однак, слід враховувати, що деякі правила можуть і не імпортуватися. Подібна ситуація може виникнути в результаті того, що всередині транспортного правила використовується посилання на абсолютний ідентифікатор об'єкта, який був в локальному Exchange Server. Прикладами з такими посиланнями можуть послужити правила із застосуванням шаблонів безпеки RMS (Right Management System). Справа в тому, що локальний Exchange Server використовує посилання на шаблон локальної служби RMS, в той час як Exchange Online посилається на Хмарний аналог даної служби. Коли виникає подібна ситуація, транспортні правила, що містять дані посилання, висвітлять помилку при імпорті. Відповідальний за міграцію фахівець повинен буде спершу в Office 365 налаштувати службу RMS, включаючи шаблони, після чого відтворити правило вручну.

Journal Rules. Цей тип об'єктів, як і попередній клас об'єктів, імпортується із збереженого файлу з колекцією. Єдиним обмеженням, яке може викликати помилку при імпорті, є посилання на поштову скриньку, призначену для зберігання архівів, яка розташована в Exchange Online. У відповідності з поточними правилами, поштова скринька для зберігання архівів корпоративного листування не повинна розташовуватись в Office 365 і в безкоштовній поштовій службі Microsoft Outlook®. Якщо ж поштова скринька для архівів буде перебувати в локальному Exchange Server помилки не буде. Імпорт проводиться так само, як і попередній об'єкт.

Retention Policies and Retention Tags. Якщо в локальній інфраструктурі використовувалися політики видалення повідомлень і підприємство бажає, щоб ці ж політики застосовувалися для поштових скриньок, які повинні будуть переміститися в Exchange Online, то в цьому випадку дані політики та їх складові об'єкти необхідно відтворити в хмарному сервісі. Для цього спочатку необхідно імпортувати скриптом визначення всіх об'єктів класу Retention Policy Tag [6].

Після того, як всі теги відтворено, необхідно відтворити політики і пов'язати їх з тегами, які були в локальній конфігурації. Для цього імена файлів зі списком тегів використовуємо як ім'я політики, а вміст тих же файлів використовуємо як посилання на теги, які вже створені (імена файлів починаються зі стандартного префікса, який був заданий при імпорті, а отже, всі файли з налаштуваннями політик можуть бути ідентифіковані) [6]. Надалі, коли користувачів буде мігровано в хмарний сервіс, ми зможемо прив'язати політики до відповідних поштових скриньок.

Перенесення допоміжних елементів конфігурації. Опціональним кроком після того, як основні елементи безпеки імпортовані в хмарну частину гібридної організації Exchange Server, може бути імпорт елементів, пов'язаних з адресними книгами. Якщо компанії дані елементи необхідно імпортувати, то перед імпортом необхідно виконати ряд додаткових кроків, пов'язаних з тим, що за замовчуванням робота з адресними книгами заблокована (навіть глобальний адміністратор не має повноважень управляти адресними книгами). Щоб включити доступ в консолі управління Exchange Server (Online) необхідно додати до Менеджмент Групи «Organization Management» роль «Address Lists», після чого перезавантажити консоль PowerShell:

```
$UserCredential = Get-Credential
```

```
$Session = New-PSSession -ConfigurationName Microsoft.Exchange -ConnectionUri
```

```
https://outlook.office365.com/powershell-liveid/ -Credential $UserCredential -
```

```
Authentication Basic -AllowRedirection
```

```
Import-PSSession $Session
```

```
New-ManagementRoleAssignment -Role "Address Lists" -SecurityGroup "Organization Management"
```

Після перезавантаження консолі і підключення до управління Exchange Online, необхідно виконати ще одну команду, яка включає управління адресними списками:

```
Set-TransportConfig -AddressBookPolicyRoutingEnabled $true
```

З цього моменту можливо управляти адресними списками.

Імпорт адресних списків проводиться з файлу, який попередньо було експортовано. Адресні списки, які не сумісні за своїми формами з форматом Office 365, експортуються в окремий файл. Списки, які готові для імпорту, зберігаються в іншому файлі і запуск скрипта для імпорту зробить всі необхідні дії. Після імпорту адресних списків можна здійснювати **імпорт офлайнних адресних книг**, які було створено додатково до основної офлайнної адресної книги. **Політика адресних книг** є останнім класом об'єктів, який імпортується в хмарну інфраструктуру. Він пов'язує адресні списки, офлайнні адресні книги, списки приміщень і глобальні адресні книги в єдину політику, яка згодом застосовується до поштової скриньки користувача. Після цієї події базова інфраструктура Exchange Server Online стала відповідати критеріям локальної організації, так як в ній створено всі об'єкти, на які надалі будуть посилатися призначені для користувача дані. З цього моменту можна починати виконувати більш тонкі налаштування.

Корегування архітектури під специфічні умови підприємства. Коли вся інформація про поточну інфраструктуру зібрана, настає другий етап в процесі побудови гібридної інфраструктури. Його завданням є зібрати всю інформацію про те, як підприємство хоче, щоб гібридна інфраструктура працювала: як рухалася пошта, які аспекти безпеки повинні враховуватися, і які елементи поточної інфраструктури повинні переноситися в хмару, а які ні. Для цього нам необхідно зібрати ряд заявок з підприємства, які згодом вплинуть на конфігурацію гібридної інфраструктури.

Аспекти, що впливають на транспортні елементи. Першим і найголовнішим аспектом при побудові гібридної інфраструктури є транспортна частина. Якщо в наземній інфраструктурі Exchange Server пошта могла приходити через один сервер або через кілька серверів, то в гібридній інфраструктурі список варіантів розширюється і підприємство повинно вибрати варіант із врахуванням всіх переваг і недоліків.

Варіант для вхідної пошти 1. Пошта централізовано приходить в Office 365, обробляється хмарною системою боротьби з небажаною поштою, антивірусною системою, після чого, пошта призначена для поштових скриньок, що знаходяться в Office 365 доставляється до одержувача, а пошта призначена для одержувачів в наземній частині організації Exchange Server доставляється на заздалегідь визначений сервер, після якого почнеться стандартна маршрутизація, властива для Exchange Server (рис. 2).

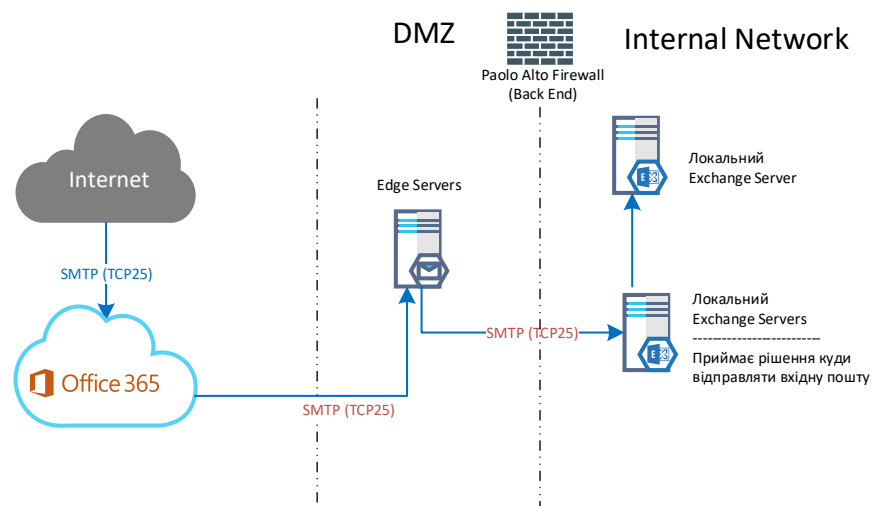


Рис. 2. Вхідна пошта через O365

Цей сценарій являє собою збалансованість між безпекою та ефективністю з точки зору навантаження на сервери, що знаходяться в локальному центрі обробки даних: а) пошта перевіряється найсвіжішими антивірусними сигнатурами; б) на локальні сервери приходить вже очищена пошта, що значно знижує навантаження на процесорні потужності; в) навантаження на мережеву інфраструктуру значно знижується, тому що навантаження з прийому всієї пошти покладається на хмарну інфраструктуру, а локальна буде навантажувати тільки тієї поштою, яка залишилася в локальних серверах.

В даному випадку підприємство повинно визначитися тільки з одним параметром: через які сервери (або в якийсь центр обробки даних) буде надходити пошта з хмарної інфраструктури в локальну. Решта значення не має. На довершення необхідно переконфігурувати MX-записи по всіх поштових доменах – вони в подальшому повинні будуть вказувати на поштову службу Office 365 – Exchange Online, яка буде знаходитися в зоні mail.protection.outlook.com.

Варіант вхідної пошти 2. Вся пошта організації, що надходить на локальні поштові сервери (все залишається без змін), локально обробляється системами боротьби з небажаною поштою, а також системами боротьби зі шкідливим ПЗ. Після цього пошта, призначена для локальних одержувачів, відправляється в поштові скриньки, а пошта, призначена для одержувачів, чії поштові скриньки знаходяться в Office 365, перенаправляється в хмару відповідальними за дану комунікацію серверами. Там дана пошта перевіряється ще раз службами боротьби з шкідливим ПЗ (служби боротьби з небажаною поштою в даному випадку не будуть задіяні, так як пошта була відправлена з довіреної системи), і після цього доставляється в поштові скриньки.

Перевагами даної конфігурації можуть бути наступні: а) вся вхідна пошта перевіряється карантинними системами того провайдера, якого забажає менеджмент підприємства; б) вся вхідна пошта обов'язково проходить через локальні системи, а значить, інформація про всі листи буде зберігатися в локальних файлах відстеження. Дана конфігурація може бути найважливішим критерієм при ухваленні рішення про те, як пошта повинна переміщатися з боку служби безпеки; в) побічним же ефектом даної конфігурації є те, що локальні сервери надлишково навантажуються, як з точки зору процесорних потужностей, так і з точки зору мережевої інфраструктури. Ще одним прихованим недоліком такої конфігурації є надмірне використання інформації на жорстких дисках, так як Exchange Server при проходженні пошти до його транспортної підсистеми зберігає пошту в своїх поштових чергах певний термін (за замовчуванням два дні) на випадок збою, як система відмовостійкості (пошта може бути затребувана тією системою, куди була відправлена, але з якихось причин загублена). Таким чином, даний варіант з точки зору продуктивності менш ефективний, але дозволяє серйозно поліпшити транспортну систему з точки зору безпеки. Єдиним параметром, який організації потрібно визначити в цьому варіанті: які сервери будуть відповідальними за обмін поштою з Office 365.

Варіант вхідної пошти 3. Вся пошта організації надходить в Office 365. Там відбувається перевірка пошти, як і в першому варіанті, але після цього вся, без винятку, пошта пересилається в локальну організацію Exchange Server, де пошта перевіряється ще раз додатковими службами, відповідальними за боротьбу з небажаною поштою та шкідливим ПЗ. Після цього пошта, призначена для локальних одержувачів, доставляється прямо в їх поштові скриньки, а пошта, призначена для одержувачів, чий поштові скриньки знаходяться в Office 365, знову відправляється до хмарної інфраструктури. Там транспортна підсистема визначає, що повідомлення отримано із довіреної системи і доставить прямо в поштову скриньку одержувача без додаткових перевірок. Даний варіант має наступні характеристики:

- а) основні атаки з інтернет на транспортні служби жодним чином не стосуються локальних серверів;
- б) пошта перевіряється як хмарними, так і наземними службами, що дозволяє зробити систему вкрай захищеною з точки зору загроз, пов'язаних з передачею небажаного контенту;
- в) пошта, як і в другому варіанті, проходить обов'язково через локальну транспортну систему, а отже, залишає слід в файлах трасування, що є великою перевагою з точки зору служби безпеки, що займається розслідуваннями, пов'язаними з витоком інформації та ін;
- г) локальна система менше навантажувється на рівні процесорних потужностей і дискової підсистеми, так як більша частина небажаної пошти буде відфільтрована на етапі проходження через «фільтри» Office 365.

Єдиним недоліком даної конфігурації є те, що буде навантажуватися транспортна система, через те, що пошта, призначена для одержувачів в Office 365, буде робити фактично петлю, що відіб'ється на продуктивності самої системи.

При виборі даної конфігурації підприємство повинно визначити, через які сервери з якого центру обробки даних буде проходити пошта під час комунікації з Office 365. Також необхідно буде, як і в першому варіанті, налаштувати MX-запис таким чином, щоб він вказував на сервери служби Exchange Online Protection, які знаходяться в зоні mail.protection.outlook.com.

Щодо **вихідної пошти**, то вона також може мати три конфігурації, проте вони відрізняються від конфігурацій, пов'язаних із вхідною поштою [2].

Варіант вихідної пошти 1. Сценарієм руху вихідної пошти за замовчуванням є сценарій, при якому вся локальна пошта продовжує відправлятися в зовнішній світ так само, як і до налаштування гібридної інфраструктури: відправка йде з локальних серверів. Пошта, яка відправляється з поштових скриньок, що знаходяться в хмарній інфраструктурі, буде йти безпосередньо зі служби Exchange Online. Єдиною дією в даній конфігурації, яку потрібно зробити, – налаштувати корпоративну службу DNS, щоб у всіх поштових доменах SPF-запис вказував не лише на локальні сервери, але і на службу Exchange Online Protection, з якої тепер теж будуть відправлятися корпоративні листи. Плюсами даної конфігурації є те, що вона вимагає мінімальних налаштувань.

Однак, якщо в компанії стоїть питання конфігурації захисту від витоку інформації, то цю систему доведеться налаштовувати як в хмарі, так і в локальній інфраструктурі (паралельно), що збільшує навантаження на обслуговування даної системи (збільшення вартості), а також збільшує ризик того, що при внесенні змін до однієї частини (наприклад, хмарної), точно такі ж зміни забудуть внести в локальній частині або зроблять з помилками (порушується цілісність конфігурації), що може призвести до інцидентів, пов'язаних з безпекою.

Варіант вихідної пошти 2. Вся вихідна пошта відправляється виключно через Office 365. У цьому випадку в локальній організації Exchange Server необхідно поміняти налаштування основного конектора, відповідального за відправку пошти в Office 365, таким чином, щоб він відповідав не тільки за пересилку пошти по доменному суфіксу «onmicrosoft.com» і «mail.onmicrosoft.com», а й додати простір імен «*». На додачу, в кожній з поштових зон DNS необхідно додати або виправити (якщо така вже існує) SPF-записи на такі, які будуть запропоновані в Office 365 (рис. 3).

Ця конфігурація зручна з наступних причин:

- а) з точки мінімізації навантаження на локальні ресурси вся пошта відправляється з локальної організації в хмарну, де буде проводитися аналіз на предмет витоку інформації і так далі;
- б) управління захистом від витоку інформації проводиться централізовано.

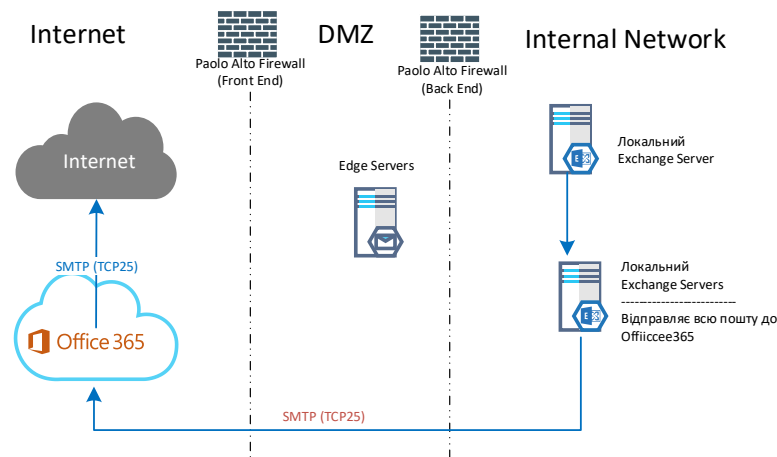


Рис. 3. Вихідна пошта системи через сервери O365

Варіант вихідної пошти 3. Вся вихідна пошта відправляється в локальну інфраструктуру і, після всіх перевірок на предмет захисту від витоку інформації, відправляється до зовнішнього світу. Дана конфігурація вимагає зробити єдине налаштування в Office 365 – налаштувати конектор, який відповідає за відправку пошти у зовнішній світ, таким чином, щоб він більше не перенаправляв пошту прямо, а відправляв її в локальну інфраструктуру Exchange Server. Дана конфігурація має наступні переваги: а) вся пошта, яка проходить через локальну інфраструктуру, буде залишати інформацію про листи в локальних файлах відстеження; б) система захисту від витоку інформації не обмежується тільки тією, яка вбудована в Exchange Server. При даній конфігурації служба безпеки може використовувати і сторонні служби захисту від витоку інформації. Саме так в більшості великих фінансових і урядових компаній і роблять.

Аспекти клієнтського доступу, які впливають на дизайн і майбутню конфігурацію гібридної інфраструктури. Якщо в організації один ЦОД з єдиним каналом в інтернет, тоді маємо єдиний сценарій міграції призначених для користувача даних. Але якщо в компанії кілька ЦОДів, доступні наступні варіанти для міграції:

1) через єдиний (основний) центр обробки даних. Підприємство самостійно приймає рішення щодо того, який ЦОД буде основним, і далі вся міграція буде йти через нього. Даний тип міграції, за замовчуванням легко налаштовується з боку управління Office 365;

2) через кілька ЦОД. У цьому випадку підприємство приймає рішення, що дані користувача повинні переноситися в Office 365 таким чином, щоб дані з одного ЦОДу ні в якому разі не мігрували через сервери іншого, при наявності клієнтського доступу з інтернету. Даний сценарій зручний, насамперед тим, що передачу даних можна вести в кілька потоків (при передачі даних компанія Microsoft обмежує пропускну здатність смуги з одного ЦОД), рис. 4.

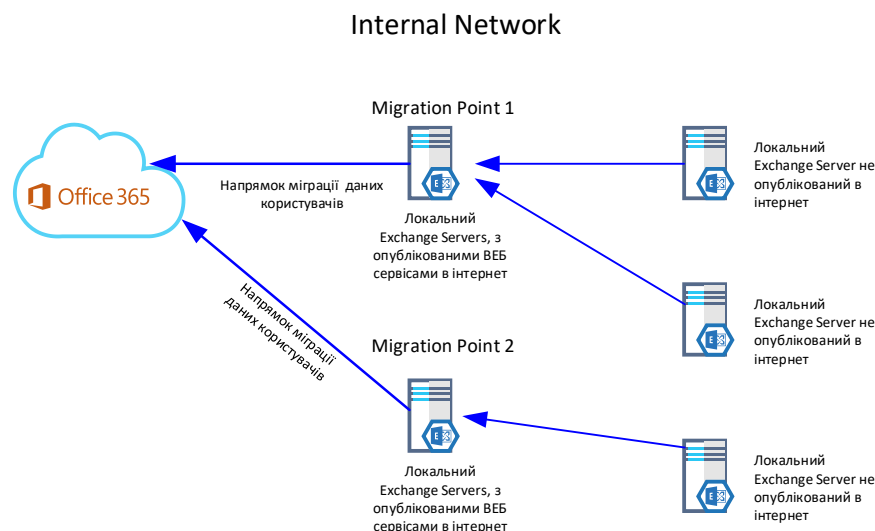


Рис. 4. Міграція даних через різні ЦОД (варіант «2»)

Отже, на даному етапі необхідно визначитися, яким чином компанії потрібно мігрувати дані і через які центри обробки даних. Для цього необхідно виконати подвійний запит: а) визначити, який режим міграції планується використовувати (1 або 2) і, якщо вибирається сценарій «2», приступаємо до конфігурації гібридної інфраструктури під формат, в якому поштові скриньки зможуть переноситися через різні ЦОД з інтелектуальною обробкою того, яким шляхом вони повинні переміщуватись; б) з'ясувати, через який ЦОД буде вестися міграція в разі варіанта «1». Якщо ж буде обраний варіант «2», то тоді в процесі

міграції система сама повинна встановити локацію поштових скриньок і визначити, через який ЦОД їх зручніше мігрувати (на підставі служби Autodiscover). Алгоритм конфігурації, наступний.

1. Здійснюється запит для отримання інформації про всі сайти активного каталогу, в яких є, як мінімум, один Exchange Server і результати запиту формують колекцію сайтів Exchange Server, які також нумеруються.

2. Здійснюється запит по всіх WEB-сервісах всередині локальної поштової організації, щоб отримати тільки ті сервіси, в яких встановлені такі параметри зовнішнього підключення (ExternalUrl). Даний параметр додається в колекцію всіх доступних для організації зовнішніх WEB-підключень. Всі елементи нумеруються.

3. Відповідальний співробітник складає підстановку того, дані з якого AD-сайту, через яке зовнішнє підключення підприємства мають переміщатися. Дана інформація зберігається в спеціальному файлі.

4. Наявність і контент конфігураційного файлу перевіряється при кожному запуску конфігураційного скрипта, який перевіряє його вміст і відображає те, що було вже раніше налаштовано, а якщо файл порожній або відсутній, то просто переконфігурує його знову.

У разі, якщо підприємство використовує версії Exchange 2010 або 2013, рекомендується створити окремий сайт AD на одну IP-адресу і встановити в ньому додатково Exchange Server, після чого опублікувати його в зовнішній світ і здійснювати міграцію через нього.

Висновки. В процесі розробки системи було взято підхід, який супроводжує всі проекти, пов'язані з міграцією. Тобто, модулі, які запускаються, відповідають тим чи іншим фазам проектної діяльності.

Перший основний компонент відповідає стадії «оцінка даних» системи, яку планують мігрувати. Всі дані, які збираються під час аналізу інфраструктури, а також дані користувачів системи Microsoft Exchange експортуються до файлів на зовнішньому носії у вигляді CSV-файлів, які будуть використовуватись іншими модулями, та у вигляді TXT (можливо, у HTML) для табличного звіту, який може розглядатись персоналом. Модуль обробки даних запускається після того, як збір даних завершено. Модуль збирає інформацію з CSV-файлів і публікує ці дані до хмарної частини гібридної інфраструктури. Також система вміє сама створювати канали передачі даних (Migration Endpoints) та керувати потоками міграційних даних (Migration Batch).

Література

1. Риз Дж. Облачные вычисления / Джордж Риз. – СПб : БХВ Петербург, 2011. – 288 с.
2. Banerjee B. Microsoft Exchange Server PowerShell Essentials / Banerjee B. – Packt Publishing, 2016. – 210 p.
3. Catrinescu V. Essential PowerShell for Office 365: Managing and Automating Skills for Improved Productivity / Catrinescu V. – Paperback, 2018. – 234 p.
4. Kegg D. Microsoft Office 365 Administration Inside Out (Includes Current Book Service), 2nd Edition / Kegg D., Guilmette A., Mandich L., Fisher E. – MicrosoftPress, 2017. – 1040 p.
5. Stanek W. Microsoft Exchange Server 2013 Pocket Consultant Databases, Services, & Management / Stanek W. – The Microsoft Press, 2013. – 384 p.
6. Connect to Office 365 PowerShell. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/office365/enterprise/powershell/connect-to-office-365-powershell>

References

1. Reese G. Cloud computing / George Reese. – SPb : BHV Petersburg, 2011. – 288 p.
2. Banerjee B. Microsoft Exchange Server PowerShell Essentials / Banerjee B. – Packt Publishing, 2016. – 210 p.
3. Catrinescu V. Essential PowerShell for Office 365: Managing and Automating Skills for Improved Productivity / Catrinescu V. – Paperback, 2018. – 234 p.
4. Kegg D. Microsoft Office 365 Administration Inside Out (Includes Current Book Service), 2nd Edition / Kegg D., Guilmette A., Mandich L., Fisher E. – MicrosoftPress, 2017. – 1040 p.
5. Stanek W. Microsoft Exchange Server 2013 Pocket Consultant Databases, Services, & Management / Stanek W. – The Microsoft Press, 2013. – 384 p.
6. Connect to Office 365 PowerShell. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/office365/enterprise/powershell/connect-to-office-365-powershell>

Надійшла / Paper received: 11.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 03.06.2020

МЕТОД ДІЯЛЬНОСТІ ТА СТРУКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПОЧАТКОВИХ ЕТАПІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Метою даного дослідження є автоматизація аналізу специфікацій вимог до програмного забезпечення (ПЗ) на предмет достатності інформації та підвищення рівня достатності інформації щодо характеристик якості ПЗ у специфікаціях вимог шляхом розроблення інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення.

Ключові слова: інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу, специфікація вимог до програмного забезпечення (ПЗ), життєвий цикл програмного забезпечення, якість ПЗ, характеристики якості ПЗ.

O. PAVLOVA, I. LOPATTO, T. HOVORUSHCHENKO

Khmelnitskyi National University

METHOD OF FUNCTIONING AND STRUCTURE OF ONTOLOGY-BASED INTELLIGENT AGENT FOR ASSESSING THE INITIAL STAGES OF THE SOFTWARE LIFECYCLE

The paper is devoted to development of ontology-based intelligent agent for assessing the initial stages of the software lifecycle. Today, the task of automated assessment of the level of development of the initial stages of the software life cycle based on the analysis of specifications (in particular, automated assessment of the sufficiency of information of requirements) is relevant. The analysis of known approaches to assessing the sufficiency of information of requirements revealed the developed theoretical and applied principles of assessing the sufficiency of information on quality in the specifications of software requirements that need to be developed through the automation of such assessment. The ontology-based intelligent agent proposed in the paper provides an opportunity to automate the analysis of the specifications of the software requirements for the sufficiency of their information.

Automation of the analysis of specifications of requirements to the software became possible due to the use of ontologies at the functioning of the developed agent. It is ontologies, by reflecting the cause-and-effect relationships between concepts and conceptualizing the domain by capturing entities and relationships, that ensure visualization of duplication and gaps in knowledge based on the visualization of missing logical relationships. This visualization of missing logical relationships reflects which attributes are missing in the specification, which software quality characteristics are affected by the lack of certain attributes, and what level of information sufficiency is in a specific specification.

The intelligent agent evaluates the sufficiency of information in the specification of requirements to determine all the characteristics of software quality. The proposed intelligent agent provides a conclusion on the sufficiency or insufficiency of information in the specification. In addition, it provides numerical estimates of the level of sufficiency of information to determine each software quality characteristic and to determine all software quality characteristics together. The agent also forms a list of attributes that should be added to the specification of requirements to improve the sufficiency of its information and visualization of gaps in knowledge about the quality characteristics of software. Thus, the presented agent allows to partially eliminate a person from the processes of information processing and acquisition of knowledge.

Keywords: ontology-based intelligent agent, software requirements specification, software lifecycle, software quality, software quality characteristics.

Вступ. На сьогодні людство все частіше покладається на програмне забезпечення (ПЗ) під час розв'язання складних задач, стрімко зростає кількість програмних проєктів з високою вартістю. Але, як показує статистика [1], частка проблемних програмних проєктів (з перевитратами часу або коштів або з недостатнім функціоналом [1]) складає порядку половини всіх програмних проєктів. Частка провальних програмних проєктів (які скасовуються до завершення і ніколи не використовуються [1]) складає близько 1/5 всіх програмних проєктів. Отже, успішними програмними проєктами, на які можна покладатись і на які варто витратити кошти, є лише 1/3 всіх програмних проєктів.

Значна кількість помилок вноситься у ПЗ на початкових етапах життєвого циклу ПЗ. Переважна більшість аварій, пов'язаних із ПЗ, виникли через помилки у специфікації вимог [2]. Програмні проєкти, специфікація вимог яких містить недостатню, неточну, неповну та суперечливу інформацію, не можуть мати успішної реалізації [2]. Крім цього, чим раніше буде виявлено дефект (помилку, порушення, недолік, несправність), тим дешевше обійдеться його виправлення. Тому для забезпечення необхідної функціональності та якості ПЗ необхідно здійснити дослідження специфікації вимог. Метою такого дослідження є виявлення та усунення недоліків початкових етапів життєвого циклу ПЗ та фактів недостатності інформації, котра має до них відношення. Хоча повнота вимог до ПЗ є бажаною, визначення повноти набору вимог не є реалістичним, що було доведено у [3]. Сьогодні якість ПЗ трактується як його здатність задовольнити потреби замовника при використанні за певних умов [4]. Тому вся необхідна інформація щодо потреб замовника повинна бути закладена вже у специфікації вимог до ПЗ, тобто вже на основі специфікації можна оцінити достатність інформації для подальшого досягнення якості ПЗ. Отже, в процесі такого дослідження необхідно оцінити, наскільки достатньо у специфікації відображена інформація щодо майбутнього ПЗ. Особливої уваги потребують вимоги, які характеризують якість ПЗ [5].

Інформацію щодо якості ПЗ (наприклад, взаємозв'язків характеристик якості за атрибутами) зручно подавати у вигляді онтологій, які дають змогу відобразити причинно-наслідкові зв'язки між поняттями, а також в змозі проявити взаємовплив і кореляцію характеристик якості за атрибутами (якщо будуть упущені

атрибути, від яких залежать кілька характеристик якості, то точність та достовірність отриманих оцінок характеристик якості та якості ПЗ буде стрімко падати).

Чимало досліджень присвячені ідеї використання онтологій для галузі інженерії ПЗ. Автор [6] пропонує використовувати онтологічні моделі на всіх етапах життєвого циклу ПЗ за рахунок концептуалізації предметної галузі в контексті розв'язуваних задач. Автори [7] пропонують онтологічну структуру трасованості багатопільових вимог MUPRET для опрацювання неоднорідності вимог до ПЗ на основі автоматичної генерації відношень трасованості. В роботі [8] зважені онтології використовуються для опрацювання природної мови при переході від специфікації вимог, написаній природною мовою, до проектування ПЗ. Саме онтології, як доводять автори [8], здатні проявити невідповідності вимог, представлених природною мовою. Онтологічну модель для опису та визначення предметних і операційних знань щодо забезпечення якості ПЗ розроблено у [9]. В роботі [10] запропоновано агент, який використовує існуючі онтологічні конструкції для створення програмного коду на основі специфікацій. Робота [11] присвячена усуненню невизначеності у вимогах до ПЗ та покращенню спілкування зацікавлених сторін шляхом впровадження інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу. Автори [12] запропонували основу для формального подання вимог обмежених ресурсами контекстних систем критичного застосування у вигляді інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу. Проведений аналіз відомих інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу показав, що відомі агенти спрямовані або на автоматизоване розроблення програмного коду за специфікацією, або на формалізацію наявних вимог, або ж, максимум, на усунення невизначеності у вимогах. Вони не розв'язують задачу оцінювання достатності інформації у вимогах до ПЗ на основі автоматизованого аналізу специфікацій вимог до ПЗ.

Отже, на сьогодні невирішеною і актуальною є проблема автоматизації аналізу специфікацій вимог до ПЗ на предмет достатності інформації та підвищення рівня достатності інформації щодо характеристик якості ПЗ у специфікаціях вимог. Невирішеність цієї проблеми обумовлює необхідність розроблення інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення, що і буде *метою цього дослідження*.

Метод діяльності та структура інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення. Інтелектуальний агент для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення розробляється на основі онтологічного підходу. В якості відомих знань інтелектуальний агент використовує базову онтологію предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Якість ПЗ»), розроблену у [5]. Інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу ПЗ приймає на вхід інформацію щодо якості зі специфікації вимог до ПЗ (у вигляді онтології для реального ПЗ) та проводить оцінювання рівня достатності інформації щодо якості у вимогах до ПЗ.

Інтелектуальний агент проводить аналіз отриманого списку відсутніх атрибутів та залежностей характеристик якості від атрибутів (за базовими онтологіями) і встановлює, які характеристики якості ПЗ неможливо визначити без відсутніх атрибутів. Крім цього, інтелектуальний агент підраховує кількості відсутніх атрибутів та характеристик, які неможливо обчислити без певних атрибутів, для формування числової оцінки достатності інформації у специфікаціях вимог до ПЗ. Після цього інтелектуальний агент оцінює інформацію у специфікації вимог до ПЗ та приймає рішення про подальші дії, зокрема, надає висновки про достатність інформації та рекомендації щодо її підвищення.

Метод діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення складається з наступних етапів [13] (рис. 1).

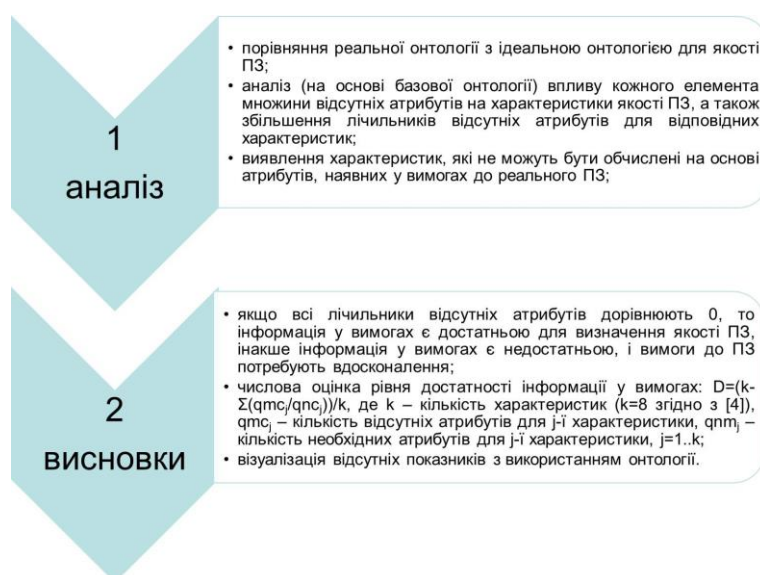


Рис. 1. Метод діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення

Результатом роботи розробленого інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення є нові знання – висновки про рівень достатності інформації, рекомендації щодо підвищення рівня достатності інформації у специфікації вимог.

Структурна схема інтелектуального агента на основі онтологічного підходу на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення представлена на рис. 2.

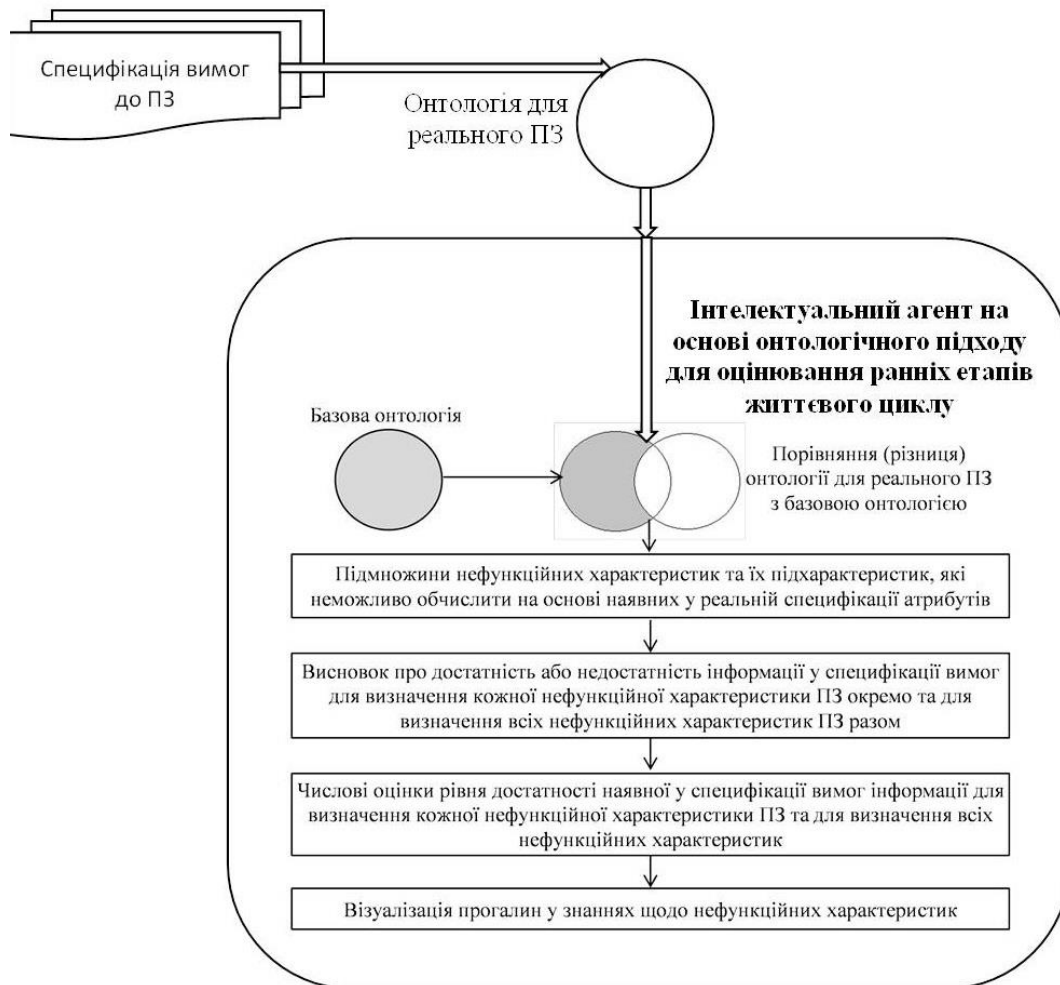


Рис. 2. Структура інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення

Крім висновку про рівень достатності інформації щодо якості ПЗ, інтелектуальний агент надає також візуалізацію прогалів у знаннях про всі нефункційні характеристики. Така візуалізація надає користувачу список відсутніх у специфікації вимог атрибутів для визначення характеристик якості ПЗ. Крім цього, саме така візуалізація відображає на скільки та які характеристики впливає той чи інший атрибут. Після аналізу наданої агентом візуалізації прогалів у знаннях розробники можуть визначити, які атрибути першочергово слід внести до специфікації вимог з метою збільшення рівня достатності інформації.

Висновки. На сьогодні актуальною є задача автоматизованого оцінювання рівня відпрацювання початкових етапів життєвого циклу ПЗ на основі аналізу специфікацій (зокрема, автоматизованого оцінювання достатності інформації вимог). Проведений аналіз відомих підходів до оцінювання достатності інформації вимог виявив розроблені теоретичні та прикладні засади оцінювання достатності інформації щодо якості у специфікаціях вимог до ПЗ, які потребують розвитку за рахунок автоматизації такого оцінювання.

Запропонований в статті інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу забезпечує можливість автоматизувати аналіз специфікацій вимог до ПЗ на предмет достатності їх інформації. Автоматизація аналізу специфікацій вимог до ПЗ стала можливою за рахунок використання онтологій при функціонуванні розробленого агента. Саме онтології, за рахунок відображення причинно-наслідкових зв'язків між поняттями та концептуалізації домена фіксуванням сутностей та зв'язків, забезпечили виявлення дублювань та прогалів у знаннях на основі візуалізації відсутніх логічних зв'язків. Така візуалізація відсутніх логічних зв'язків відображає, яких саме атрибутів недостатньо у специфікації, на які характеристики якості ПЗ впливає відсутність певних атрибутів та який рівень достатності інформації у певній специфікації.

Інтелектуальний агент здійснює оцінювання достатності інформації у специфікації вимог для визначення всіх характеристик якості ПЗ. Пропонований інтелектуальний агент забезпечує висновок про достатність або недостатність інформації у специфікації. Крім цього, він надає числові оцінки рівня достатності інформації для визначення кожної характеристики якості ПЗ та для визначення всіх характеристик

якості ПЗ разом. Агентом також формується список атрибутів, якими варто доповнити специфікацію вимог для підвищення рівня достатності її інформації, та візуалізація прогалин у знаннях про характеристики якості ПЗ. Таким чином, представлений агент дозволяє частково усунути людину з процесів опрацювання інформації та здобуття знань.

Інтелектуальність пропонованого агента полягає не тільки у формуванні висновку про достатність або недостатність інформації, а і наданні числових оцінок рівня достатності інформації у специфікації вимог. Він також рекомендує доповнити цю специфікацію атрибутами, необхідними для визначення характеристик якості ПЗ (з наданням списку та візуалізації відсутніх атрибутів). Якщо розробники специфікації дослухаються до рекомендацій агента і доповнюють специфікацію необхідними атрибутами, то рівень достатності інформації у аналізованій специфікації вимог для визначення характеристик якості програмного забезпечення зростає. Результати функціонування пропонованого інтелектуального агента на основі онтологічного підходу в комплексі забезпечують підвищення рівня достатності інформації у специфікації вимог до ПЗ для визначення характеристик якості та якості ПЗ. Крім цього, результати функціонування пропонованого інтелектуального агента спрямовані на уникнення втрат істотної інформації і мінімізацію виникнення помилок на ранніх етапах життєвого циклу ПЗ.

Отже, розроблений інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу забезпечує підвищення рівня достатності інформації у специфікації вимог до ПЗ для визначення восьми характеристик якості ПЗ. Розроблений інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу може використовуватись для будь-якого програмного забезпечення, єдиним обмеженням є наявність специфікації вимог до ПЗ.

Література

1. Shane H. Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch / H. Shane, S. Wojewoda. – URL : <http://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015>
2. McConnell S. Code complete / S. McConnell. – Redmond : Microsoft Press, 2013. – 896 p.
3. Cruickshank K. J. A validation metrics framework for safety-critical software-intensive systems / Cruickshank K. J. – USA : Monterey, 2009. – 144 p.
4. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQaRE). System and software quality models. [Introduced 01.03.2011]. – Geneva (Switzerland), 2011. – 34 p. – (International standard).
5. Hovorushchenko T. Information technology of evaluating the sufficiency of information on quality in the software requirements specifications / T. Hovorushchenko, O. Pomorova. – CEUR-WS. – 2018. – Vol. 2104. – P. 555–570.
6. Burov E. Complex ontology management using task models / E. Burov // International Journal of Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems. – 2014. – Vol. 18. – № 2. – P. 111–120.
7. Assawamekin N. Ontology-based multiperspective requirements traceability framework / N. Assawamekin, A. Namfon, T. Sunetnanta, C. Pluempitwiriyaewej. – Knowledge Information Systems. – 2010. – № 3. – P. 493–522.
8. Leonid K. Ontology and model alignment as a means for requirements validation / K. Leonid, R. Gacitua, M. Rouncefield, P. Sawyer // Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Semantic Computing. – USA : Pittsburgh, 2010. – P. 46–51.
9. Bajnaid N. O. An ontological approach to model software quality assurance knowledge domain / N.O. Bajnaid, R. Benlamri, A. Pakstas, Sh. Salekzamankhani // Lecture Notes on Software Engineering. – 2016. – Vol. 4. – № 3. – P. 193–198.
10. Freitas A. Model-driven engineering of multi-agent systems based on ontologies / A. Freitas, R. H. Bordini, R. Vieira // Applied Ontology. – 2017. – Vol. 12. – Issue 2. – P. 157–188.
11. Ossowska K. Exploring an ontological approach for user requirements elicitation in the design of online virtual agents / K. Ossowska, L. Szewc, P. Weichbroth, I. Gamik, M. Sikorski // Information Systems: Development, Research, Applications, Education. – 2017. – Vol. 264. – P. 40–55.
12. Rakib A. A formal approach to modelling and verifying resource-bounded context-aware agents / A. Rakib, R. U. Faruqi // Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences Social Informatics and Telecommunications Engineering. – 2013. – Vol. 109. – P. 86–96.
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. – P. 169–178.

Надійшла / Paper received: 19.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 03.06.2020

УДК 004

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-10

В. І. ТОМЕНКО

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

Н. В. САЧАНІУК-КАВЕЦЬКА

Вінницький національний технічний університет

О. О. ДМИТРИЄНКО

Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ

Інтелектуальний аналіз даних, в інформації - процес виявлення цікавих та корисних закономірностей та взаємозв'язків у великих обсягах даних. Поле поєднує інструменти статистики та штучного інтелекту (такі як нейронні мережі та машинне навчання) та управління базами даних для аналізу великих цифрових колекцій, відомих як набори даних. Видобуток даних широко використовується у бізнесі (страхування, банківська справа, роздрібна торгівля), наукових дослідженнях (астрономія, медицина) та державній безпеці (виявлення злочинців та терористів). Поширення численних великих, а іноді і пов'язаних між собою державних та приватних баз даних призвело до постанов, що гарантують точність та захист окремих записів від несанкціонованого перегляду та підробки. Більшість типів аналізу даних спрямовані на встановлення загальних знань про групу, а не на знання про конкретних осіб - супермаркет менше турбується продажем ще однієї речі одній людині, ніж продажем багатьох предметів багатьом людям, хоча аналіз шаблонів також може бути використаний для того, щоб розпізнати аномальну поведінку особистості, таку як шахрайство чи інша злочинна діяльність. Одним із підходів до підвищення надійності є спочатку групування осіб, які мають подібні схеми закупівель, оскільки групові моделі менш чутливі до незначних аномалій. Наприклад, група "частих ділових мандрівників", швидше за все, матиме шаблон, який включає безпрецедентні покупки в різних місцях, але учасники цієї групи можуть бути позначені для інших транзакцій, таких як покупки в каталозі, які не відповідають профілю цієї групи

Ключові слова: комп'ютерні програми, аналіз баз даних, інтелектуальний аналіз, електротехніка, математична модель, аналіз даних, контроль доступу.

V. TOMENKO

Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Defense of Ukraine

N. SACHANIUK-KAVETS'KA

Vinnytsia National Technical University

O. DMYTRIENKO

Poltava V.G. Korolenko National Pedagogical University

DATA MINING

As computer storage increased during the 1980s, many companies began to store more transaction data. The resulting collection of records, often referred to as data warehouses, was too large to be analyzed using traditional statistical approaches. Several computer science conferences and seminars have been held to consider how the latest advances in artificial intelligence (such as the discovery of expert systems, genetic algorithms, machine learning, and neural networks) can be adapted to discover knowledge (the best term in the computer science community). When studying consumer buying behavior, a typical pattern usually becomes apparent; purchases made outside of this pattern may be marked for further investigation or for denial of the transaction. However, the wide variety of normal behaviors makes this a difficult task; no difference between normal and fraudulent behavior works for everyone or constantly.

Data mining, in computer science - the process of identifying interesting and useful patterns and relationships in large amounts of data. The field combines statistics and artificial intelligence tools (such as neural networks and machine learning) and database management to analyze large digital collections known as datasets. Data mining is widely used in business (insurance, banking, retail), research (astronomy, medicine) and national security (detection of criminals and terrorists). The proliferation of numerous large and sometimes interconnected public and private databases has resulted in regulations guaranteeing the accuracy and protection of individual records from unauthorized inspection and forgery. Most types of data analysis focus on establishing general group knowledge rather than specific knowledge - a supermarket is less concerned with selling another item to one person than selling many items to many people, although pattern analysis can also be used to identify abnormalities. personal behavior, such as fraud or other criminal activity. One approach to improving reliability is to first group individuals who have similar procurement schemes, as group models are less sensitive to minor anomalies. For example, the "frequent business travelers" group is likely to have a template that includes unprecedented purchases in different locations, but members of this group may be marked for other transactions, such as catalog purchases that do not match the group's profile.

Keywords: computer programs, database analysis, intelligent analysis, electrical engineering, mathematical model, data analysis, access control.

Методика. У міру збільшення обсягу комп'ютерного сховища протягом 1980-х років багато компаній почали зберігати більше даних про транзакції. Отримані в результаті колекції записів, які часто називають сховищами даних, були занадто великими, щоб їх можна було аналізувати за допомогою традиційних статистичних підходів. Було проведено декілька конференцій та семінарів з інформатики, щоб розглянути, як останні досягнення у галузі штучного інтелекту (такі як відкриття експертних систем, генетичних алгоритмів, машинного навчання та нейронних мереж) можуть бути адаптовані для відкриття знань (кращий термін у спільноті інформатики). Вивчаючи купівельну поведінку споживача, зазвичай стає очевидним типовий зразок; покупки, зроблені поза цим зразком, можуть бути позначені для подальшого розслідування або для відмови у транзакції. Однак широке розмаїття нормальної поведінки робить це складним завданням; жодна різниця між нормальною та шахрайською поведінкою не працює для всіх або постійно.

Аналіз останніх досліджень і публікацій (Literature review). У 1995 році до Першої міжнародної конференції з питань виявлення знань та видобутку даних, що відбулася в Монреалі, та запуску в 1997 році журналу Data Mining and Knowledge Discovery. Це був також період, коли було створено багато компаній з раннього видобутку даних і представлено продукцію. Одним із найперших успішних застосувань інтелектуального аналізу даних, який, можливо, поступається лише маркетинговим дослідженням, було виявлення шахрайства з кредитними картками.

Результати. Приблизно за останнє десятиліття сотня виробників комп'ютерного програмного забезпечення стрибала на обробку даних. Основні статистичні програмні пакети, такі як SAS, S-PLUS, SPSS та STATISTICA тощо, продаються як інструменти видобутку даних, а не як статистичні інструменти. Більше того, більшість майнерів даних та статистиків продовжують саркастично критикувати один одного. Це шкодить обом дисциплінам. На жаль, антистатистичне ставлення не дозволить видобутку даних досягти свого реального потенціалу – видобуток даних може навчитися зі статистики.

Мета роботи. Метою аналізу є встановлення наступних залежностей: якщо в транзакції зустрівся деякий набір елементів X , то на підставі цього можна зробити висновок про те, що інший набір елементів Y також має з'явитись в цій транзакції. Встановлення таких залежностей дає нам можливість знаходити дуже прості і інтуїтивно зрозумілі правила. Кожна людина, швидше за все, зробить деякі покупки, що відрізняються від тих, які він робив раніше, тому, покладаючись на те, що є нормальним для окремої людини.

Постановка проблеми (Introduction). Повний процес видобутку даних включає декілька етапів - від розуміння цілей проекту та наявних даних до впровадження змін процесу на основі остаточного аналізу. Три ключові обчислювальні етапи – процес навчання моделі, оцінка моделі та використання моделі. Цей розділ найбільш чіткий з класифікацією даних. Навчання моделі відбувається, коли один алгоритм застосовується до даних, про які відомий атрибут групи (або класу), щоб створити класифікатор, або алгоритм, засвоєний з даних. Потім класифікатор тестується за допомогою незалежного набору оцінок, що містить дані з відомими атрибутами. Тоді, наскільки класифікації моделі узгоджуються з відомим класом для цільового атрибута, тоді можна використовувати для визначення очікуваної точності моделі. Якщо модель досить точна, її можна використовувати для класифікації даних, для яких цільовий атрибут невідомий.

Виклад основного матеріалу. Існує багато типів інтелектуального аналізу даних, які поділяються на тип інформації (атрибутів), який відомий, і тип знань, які шукають у моделі інтелектуального аналізу даних.

Прогнозне моделювання застосовується, коли метою є оцінка значення певного цільового атрибута та існують зразки навчальних даних, для яких значення цього атрибута відомі. Прикладом може служити класифікація, яка бере набір даних, вже розділених на заздалегідь визначені групи, і шукає закономірності в даних, що диференціюють ці групи. Потім ці виявлені закономірності можна використовувати для класифікації інших даних, де правильне позначення групи для цільового атрибута невідомо (хоча інші атрибути можуть бути відомі).

Для досягнення найкращих результатів з обробки даних необхідний набір інструментів та методів. Деякі з найбільш часто використовуваних функцій включають:

- класифікація – це завдання прогнозування мітки або категорії нового спостереження (із набору міток чи категорій), враховуючи навчальний набір даних, що містять спостереження (або екземпляри), мітки яких вже відомі;

- кластеризація – це завдання групування спостережень (або екземплярів) у групи, відомі як кластери, на основі навчального набору даних, який містить спостереження. Мета полягає в тому, що екземпляри в одному кластері повинні бути більш схожими один на одного, ніж екземпляри в інших кластерах. На відміну від класифікації, ярлики не надаються заздалегідь;

- вимірювання є синонімом атрибута або атрибута. Приклад запису або екземпляра в наборі даних буде описаний набором вимірювань. Прикладами розмірів є зріст, стать та вік, або абсолютний поріг на одній частоті;

- домен – це метод високого рівня, де поняття ширше. Наприклад, спосіб життя людини може бути описаний в одному домені, а статус його слуху – в іншому. Кожен домен може вимірюватися кількома вимірами / ознаками, які можна згрупувати за різними методами;

- модальність – сукупність пов'язаних вимірів / ознак, що описують конкретний об'єкт чи концепцію. Наприклад, клінічна аудіограма зазвичай визначається пороговими значеннями на восьми різних частотах. Коли розміри разом описують єдине поняття, таке як аудіограма, ми називаємо це методом;

- регресія – завдання прогнозування безперервної реакції на вхідну змінну, враховуючи набір навчальних даних, що містить спостереження, безперервний відгук яких вже відомий. Це прогноз безперервної відповіді, на відміну від класифікації, де передбачається лише дискретна мітка або категорія;

- виявлення підгрупи – це завдання пошуку підмножини примірників у наборі даних, для яких встановлюється якесь підключення або залежність. Це особлива відмінність від класифікації, регресії та кластеризації, які забезпечують деяке прогнозування або опис усього набору даних.

Наприклад, виробник може розробити модель прогнозування, яка розрізняє деталі, які виходять з ладу в умовах сильної спеки, екстремального холоду чи інших умов на основі їх виробничого середовища, і ця модель може потім використовуватися для визначення відповідних застосувань для кожної деталі[1-7].

Іншим методом, що застосовується в прогнозному моделюванні, є регресійний аналіз, який можна використовувати, коли цільовим атрибутом є числове значення і метою є передбачення цього значення для нових даних.

Описове моделювання або кластеризація також поділяє дані на групи. Однак при кластеризації належні групи не відомі заздалегідь; закономірності, виявлені в результаті аналізу даних, використовуються для визначення груп. Наприклад, рекламодавець може проаналізувати загальну сукупність, щоб класифікувати потенційних споживачів у різні кластери, а потім розробити окремі рекламні кампанії, націлені на кожну групу. Виявлення шахрайства також використовує кластеризацію для виявлення груп осіб зі схожими моделями закупівель.

Видобуток шаблонів концентрується на визначенні правил, що описують конкретні закономірності в даних. Аналіз кошика ринку, який визначає предмети, які зазвичай трапляються разом в операціях закупівлі, був одним із перших застосувань для видобутку даних. Наприклад, супермаркети використовували аналіз ринкових кошиків для виявлення предметів, які часто купували разом – наприклад, магазин, де продавали рибу, також містив би запас соусу тартар.

Постановка проблеми. Незважаючи на те, що тестування таких асоціацій вже давно стало можливим, і його часто легко побачити в малих наборах даних, видобуток даних дозволив виявити менш очевидні асоціації у величезних наборах даних. Найбільший інтерес представляє відкриття несподіваних асоціацій, які можуть відкрити нові шляхи для маркетингу чи досліджень. Іншим важливим використанням вишукування шаблонів є відкриття послідовних шаблонів; наприклад, послідовності помилок або попереджень, що передують виходу з ладу обладнання, можуть бути використані для планування профілактичного обслуговування або можуть дати уявлення про недолік конструкції.

Виявлення аномалій можна розглядати як зворотну сторону кластеризації, тобто пошук екземплярів даних, які є незвичними та не відповідають жодному встановленому шаблону. Виявлення шахрайства є прикладом виявлення аномалій. Хоча виявлення шахрайства може розглядатися як проблема для прогнозного моделювання, відносна рідкість шахрайських транзакцій та швидкість, з якою злочинці розробляють нові типи шахрайства, означають, що будь-яка модель прогнозування, швидше за все, буде низькою точністю і швидко застаріє. Таким чином, виявлення аномалій натомість концентрується на моделюванні нормальної поведінки з метою виявлення незвичних транзакцій. Виявлення аномалій також використовується з різними системами моніторингу, наприклад, для виявлення вторгнень.

Розроблено безліч інших методів видобутку даних, включаючи виявлення закономірностей у даних часових рядів (наприклад, ціни на акції), потокових даних (наприклад, сенсорні мережі) та реляційне навчання (наприклад, соціальні мережі).

Багато людей турбує потенціал вторгнення в приватне життя за допомогою інтелектуального аналізу даних. Комерційні бази даних можуть містити детальні записи історії хвороби людей, купівельних операцій та використання телефону, серед інших аспектів їхнього життя.

Багато методів видобутку даних були винайдені статистиками або тепер інтегровані в статистичне програмне забезпечення; вони є розширенням стандартної статистики. Хоча майстри даних та статистики використовують подібні методи для вирішення подібних проблем, але підхід до аналізу даних відрізняється від стандартного статистичного підходу в декількох областях, таких як. Майнери даних припускають, що даних та обробної потужності достатньо. Без інтелектуального аналізу даних може бути важко розробити експерименти у діловому світі.

Це відмінності підходу, а не протилежності. Таким чином, вони проливають трохи світла на те, як бізнес-проблеми, що вирішуються майнерами даних, відрізняються від наукових проблем, які стимулювали розвиток статистики. Однією з основних відмінностей між бізнес-даними та науковими даними є те, що останні – це усічені / нецензуровані дані, а перші – усічені / цензуровані. Враховуючи методологію або алгоритм аналізу даних, часто дуже важко сказати, чи це «Статистика», чи «Видобуток даних». Незрозуміло, як слід наносити цей ярлик. Насправді, на практиці, вирішуючи реальні проблеми галузі, клієнти ніколи не запитують: «Ви майнер даних чи статистик?». Насправді їх основний інтерес полягає у вирішенні проблеми, яка стосується їх рівня задоволення, і не має значення, яку етикетку ми використовуємо. Як люди, що обслуговують клієнтів, нам (як майнеру даних або як статистику) потрібно випробувати ті статистичні прийоми чи алгоритми, які найкраще підходять для відповіді на запити замовника.

Немає сумнівів, що аналіз даних має силу трансформувати підприємства; однак впровадження рішення, яке відповідає потребам усіх зацікавлених сторін, часто може зупинити вибір платформи. Широкий спектр доступних для аналітиків варіантів, включаючи мови з відкритим кодом, такі як R та Python, та такі знайомі інструменти, як Excel, у поєднанні з різноманітністю та складністю інструментів та алгоритмів можуть ще більше ускладнити процес.

Підприємства, які отримують найбільшу цінність із видобутку даних, зазвичай вибирають платформу, яка:

- включає найкращі практики для своєї галузі або типу проекту. Наприклад, організації охорони здоров'я мають інші потреби, ніж компанії електронної комерції;
- управляє усім життєвим циклом видобутку даних, починаючи від дослідження даних і закінчуючи виробництвом;
- вирівнюється з корпоративними додатками, включаючи BI-системи, CRM, ERP, фінансове та інше корпоративне програмне забезпечення, з яким воно має взаємодіяти для максимальної віддачі інвестицій;
- інтегрується з провідними мовами з відкритим кодом, надаючи розробникам та науковцям даних гнучкість та інструменти співпраці для створення інноваційних програм;

– відповідає потребам ІТ, науковців даних та аналітиків, одночасно обслуговуючи потреби бізнес-користувачів у звітності та візуалізації;

– платформа великих даних Talend надає повний набір можливостей управління даними та інтеграції даних, щоб допомогти командам з обробки даних швидше реагувати на потреби свого бізнесу.

Засноване на відкритій, масштабованій архітектурі та з інструментами для реляційних баз даних, плоских файлів, хмарних додатків та платформ, це рішення доповнює вашу платформу видобутку даних, надаючи більше даних для роботи за менший час – що перетворюється на швидший час для розуміння та конкурентні переваги[1–3].

Застосовуючи передові аналітичні методи в Data Mining, підприємства збільшують доходи, максимізують операційну ефективність, скорочують витрати та покращують задоволеність споживачів. Тоді як статистика дає можливість будувати прогностичні моделі або розробляти класифікації, які впливають на ваш підсумок. Без статистики немає ефективного аналізу.

Без ефективного аналізу не існує бізнес-аналітики. Без бізнес-аналітики, як ви можете сподіватися засвоїти гігабайти даних і послідовно приймати рішення, які будуть випереджати вашу конкуренцію. За допомогою статистики ви можете перетворити свої дані на знання про свої бізнес-процеси. Використання статистичних даних у процесі аналізу даних може суттєво вплинути на всі сфери вашої організації. На сьогоднішній день статистичне програмне забезпечення може покращити вашу конкурентоспроможність від цеху до торгового виконання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній діловій арені постійним завданням є не відставати від ринкових тенденцій та прогнозувати майбутні результати. Щоб збільшити частку ринку та ефективно працювати, ви не можете дозволити собі не використовувати статистику в Data Mining.

Якщо ви не видобуваєте свої дані настільки, наскільки це варте, ви винні у недостатньому використанні одного з найбільших активів вашої компанії. Хоча в статистиці є субдисципліна, яка стосується опису, огляд у будь-якому загальному тексті статистики продемонструє, що головним питанням є те, як робити заяви про сукупність, коли спостерігається лише вибірка.

Однак проблема видобутку даних часто має у своєму розпорядженні всю сукупність даних, наприклад деталі всієї робочої сили корпорації тощо. У таких випадках поняття перевірки статистичної значущості втрачає значення. З іншого боку, основною метою видобутку даних є відкриття, це не стосується тих областей статистики, які передбачають, як найкраще зібрати дані, перш за все, щоб відповісти на конкретне питання, таке як експериментальний дизайн та дизайн обстеження.

Видобуток даних по суті припускає, що дані вже зібрані, і стосується того, як відкрити їх секрети. Для подальшого вивчення схожості та відмінності між статистикою та засобами збору даних читачі можуть звернутися до Hand (1999a, 1999b).

Громадянські лібертаріанці вважають деякі бази даних, що зберігаються підприємствами та урядами, не обґрунтованим вторгненням та запрошенням до зловживань. Наприклад, Американський союз громадянських свобод подав позов до Агентства національної безпеки США (NSA) за звинуваченням у беззастережному шпигунстві за американськими громадянами шляхом придбання записів дзвінків у деяких американських телекомунікаційних компаній.

Програма, розпочата в 2001 р., була відкрита громадськістю лише в 2006 р., коли інформація почала просочуватися. Часто ризик полягає не в самому видобутку даних (який, як правило, спрямований на отримання загальних знань, а не на вивчення інформації про конкретні проблеми), а внаслідок неправильного використання або неналежного розкриття інформації в цих базах даних.

У Сполучених Штатах зараз багато федеральних відомств зобов'язані складати щорічні звіти, які конкретно розглядають наслідки конфіденційності їх проєктів з видобутку даних. Законодавство США, яке вимагає звітів про конфіденційність від федеральних агентств, визначає видобуток даних досить строго, як «... аналіз для виявлення або виявлення прогностичного зразка або аномалії, що свідчить про терористичну чи злочинну діяльність з боку будь-якої фізичної особи».

Оскільки різні місцеві, національні та міжнародні правоохоронні органи почали обмінюватися або інтегрувати свої бази даних, потенціал зловживань або порушень безпеки змусив уряди співпрацювати з промисловістю над розробкою більш захищених комп'ютерів та мереж. Зокрема, було проведено дослідження методів захисту даних, які зберігають конфіденційність, які працюють на спотворених, перетворених або зашифрованих даних, щоб зменшити ризик розкриття даних будь-якої особи.

Інтелектуальний аналіз даних розвивається, комерційним прикладом цього стала премія Netflix у розмірі 1 мільйон доларів. Американська компанія Netflix, яка пропонує прокат фільмів, доставлених поштою або в Інтернеті, розпочала конкурс у 2006 році, щоб перевірити, чи зможе хтось покращити на 10 % свою систему рекомендацій – алгоритм прогнозування переваг кінофільмів людини на основі попередніх даних прокату. Приз був вручений 21 вересня 2009 року «Прагматичному хаосу» BellKor – команді з семи математиків, інформатиків та інженерів із США, Канади, Австрії та Ізраїлю, які досягли 10-відсоткової мети 26 червня 2009 р., і завершили свою перемогу вдосконалим алгоритмом через 30 днів. Трирічний відкритий конкурс спонукав багатьох розумних нововведень щодо інтелектуального аналізу даних у учасників. Наприклад, на конференціях 2007 та 2008 рр. З питань виявлення знань та видобутку даних були проведені семінари, присвячені премії Netflix, на яких були представлені наукові роботи на теми, починаючи від нових методів спільної фільтрації і закінчуючи більш швидкою факторизацією матриць

(ключовим компонентом багатьох систем рекомендацій). Побойовання щодо конфіденційності таких даних також призвели до прогресу в розумінні конфіденційності та анонімності [3–7].

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Однак аналіз даних не є панацеєю, і результати слід розглядати з такою ж обережністю, як і будь-який статистичний аналіз. Однією з сильних сторін інтелектуального аналізу даних є можливість аналізу кількості даних, які було б недоцільно аналізувати вручну, а знайдені закономірності можуть бути складними та важкими для розуміння людьми; ця складність вимагає обережності при оцінці закономірностей. Тим не менше, методи статистичної оцінки можуть призвести до знань, які не мають людських упереджень, а великий обсяг даних може зменшити упередження, властиві меншим вибіркам. При правильному використанні інтелектуальний аналіз даних дає цінну інформацію про великі масиви даних, які в іншому випадку не було б практично або можливо отримати. «Mining» англійською означає «видобуток корисних копалин», а пошук закономірностей у величезній кількості даних дійсно схожий на цей процес.

Перш ніж використовувати технологію Data Mining, необхідно ретельно проаналізувати її проблеми:

- Data Mining не може замінити аналітика;
- не може складати розробки і експлуатації додатку Data Mining;
- потрібна підвищена кваліфікація користувача;
- витягання корисних відомостей неможливе без доброго розуміння суті даних;
- складність підготовки даних;
- висока вартість;
- вимога наявності достатньої кількості репрезентативних даних.

Data Mining тісно пов'язана з різними дисциплінами, що засновані на інформаційних технологіях та математичних методах обробки інформації (рис. 1).

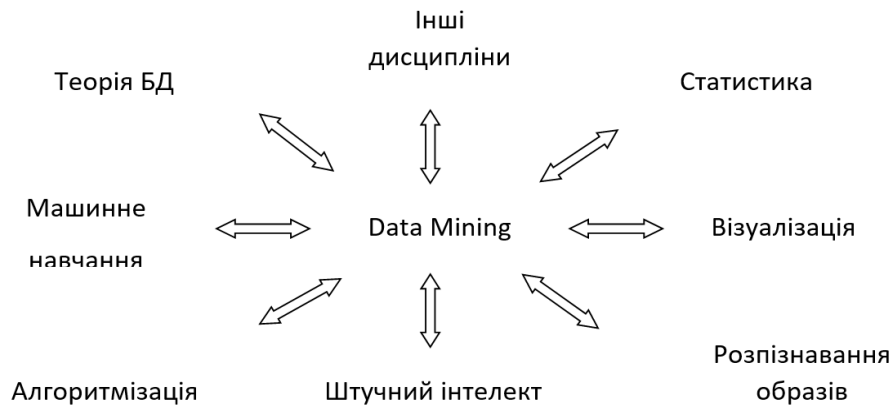


Рис. 1. Методи обробки інформації

Насамперед, обсяги продажів, запаси цін і відсоток відображення продукту дуже важливо прогнозувати, тому що вони могли залежати від дій кількох попередніх. Наступні, більше складні методи (наприклад, логістична регресія, рішення дерев або нейронні мережі) можуть бути необхідними для прогнозування майбутніх цінностей. Одні і ті самі типові моделі часто можна використовувати як для регресії, так і для класифікації. Наприклад, корзина (Класифікація Rvyhod) алгоритм рішень може бути використаний для побудови шпалерів класифікованих дерев (для класифікації категорійних відкритих) та регресійних дерев (для прогнозування певних безперервних вікліків). Згенеровані функції можна класифікувати за функціями часу та функціями дії, як зведено в таблиці 1. Було створено чотири функції часу: T_time, A_time, S_time та E_time, що вказує загальний час відгуку, час дії, проведений у процесі, час початку, витрачений на першу дію, і час закінчення, витрачений на останню дію, відповідно.

Передбачалося, що студенти з різними рівнями здібностей можуть відрізнятися за часом, коли вони читають запитання (час початку, витрачений на першу дію), час, який вони витрачають під час відповіді (час дії, проведений в процесі), і час, який вони використали, щоб зробити остаточний рішення (час закінчення, витрачений на останню дію). Різні дослідники пропонували різні підходи спільного моделювання як для точності відповіді, так і для часу відгуку, які пояснюють взаємозв'язок між ними (наприклад, van der Linden, 2007; Bolsinova et al., 2017). Таким чином, очікується, що загальний час відгуку також відрізнятиметься. Видобуток даних означає статистику чи більше, ніж статистику?

Формування цілі статті. Насправді, видобуток даних – це термін, що є синонімом поняття «поглиблення даних» або «вилов даних» і використовувався для опису процесу тралення через дані з надією виявити закономірності. Дані, які є не просто однорідними, мають відмінності, які можна інтерпретувати як закономірності. Проблема полягає в тому, що багато з цих "моделей" будуть просто продуктом випадкових коливань і не представлятимуть жодної базової структури. Тоді для статистиків термін «видобуток даних» передає відчуття наївної надії, марно бореться з холодними реаліями випадковості. Однак для інших дослідників цей термін розглядається більш позитивно.

Поверхово, звичайно, те, що тут описується, є не що інше, як дослідницький аналіз даних, діяльність, яка проводилася з моменту першого аналізу даних і яка досягла більшої респектабельності. Але різниця є, і саме ця різниця пояснює, чому статистики повільно зациклювалися на можливостях. Ця різниця полягає у великому розмірі наборів даних, які зараз доступні. Статистичні спеціалісти зазвичай не займаються наборами даних, що містять багато мільйонів або навіть мільярдів записів.

Більше того, спеціальні методи зберігання та маніпулювання, необхідні для їх роботи, були розроблені абсолютно різними інтелектуальними спільнотами, ніж статистики. Можливо, не буде перебільшенням сказати, що більшість статистиків стурбовані первинним аналізом даних. З іншого боку, видобуток даних повністю займається вторинним аналізом даних. Насправді ми могли б визначити «видобуток даних» як процес вторинного аналізу великих баз даних, спрямованих на пошук не підозрюваних відносин, які представляють інтерес або цінність для власників баз даних. З цього ми бачимо, що «Видобуток даних» є в основному індуктивною вправою, на відміну від гіпотетико-дедуктивного підходу, який часто розглядається як парадигма прогресу сучасної науки.

Однак у цьому дослідженні особливості дії були створені шляхом кодування різної довжини сусідніх послідовностей дій разом. Таким чином, це дослідження створило 12 функцій дії, що складаються лише з однієї дії (уніграми), 18 функцій дії, що містять дві впорядковані суміжні дії (біграми), та 2 особливості дії, створені з чотирьох послідовних дій. Крім того, передбачалося, що всі створені послідовності дій мають однакову важливість.

Загальна закономірність полягає в тому, що нова ідея буде висунута дослідниками з якоїсь іншої дисципліни, приверне значний інтерес, і лише тоді статистик залучиться. Існує реальна небезпека того, що статистика та статистики будуть сприйматися як незначна недоречність і як така, що не відіграє фундаментальної ролі у науковому та широкому житті, яка належним чином виконується [4–6].

Статистиці необхідно терміново взяти участь у обробці даних. В основному класична статистика має справу з числовими даними. Але в наш час бази даних містять дані інших видів. Чотири очевидні приклади – це дані про зображення, звукові дані, текстові дані та географічні дані. Основне питання інтелектуального аналізу даних полягає у пошуку цікавих закономірностей та структур у цих базах даних. Звичайно, не можна просто попросити комп'ютер «шукати цікаві закономірності» або «перевіряти, чи є в даних якась структура».

Перш ніж це зробити, потрібно визначити, що вони мають на увазі під шаблонами чи структурою. І перед тим, як це зробити, потрібно вирішити, що означає «цікаве». Загалом, звичайно, те, що цікавить, буде дуже залежати від домену програми. Під час пошуку закономірностей або структур потрібно зробити компроміс між конкретним та загальним. Суть інтелектуального аналізу даних полягає в тому, що людина не знає, яку саме структуру шукає, тому доцільним буде досить загальне визначення. З іншого боку, занадто загальне визначення дасть занадто багато моделей кандидатів. Оскільки пошук шаблонів видасть велику кількість шаблонів-кандидатів, то існує велика ймовірність того, що помилкові конфігурації даних будуть визначені як шаблони.

Можливо, рішення буде знайдено лише шляхом виходу за рамки загальноприйнятої імовірнісної статистичної системи, яка використовує правила скорингу замість імовірнісних інтерпретацій. Проблема подібна до проблеми надмірної підгонки статистичних моделей, що викликало новий інтерес завдяки розробці надзвичайно гнучких моделей, таких як нейронні мережі. Статистичні дані, викладені в традиційній навчальній програмі, можуть бути описані як такі, що характеризуються невеликими, чистими, статичними та випадковими вибірками, і часто збираються для відповіді на конкретне питання. Жодне з них не застосовується в контексті аналізу даних. Оскільки для класичного статистика набір даних з кількома тисячами спостережень може бути великим, але для майнера даних це мало.

Можна стверджувати, що, хоча між аналізом даних та статистикою є дуже багато спільного, вони мають свої унікальні ідентичності. Ми можемо також стверджувати, що особливості проблеми, з якою вони вирішують, а також характер та обмеження методів, які вони використовують, можуть призвести до плідного синергізму. Насправді існують глибокі теоретичні проблеми, що виникають із проблем видобутку даних, які мали б користь із статистичної точки зору та розуміння. Здається, що видобуток даних можна поставити в контекст більшої статистики, яку можна визначити, принаймні вільно, як «все, що пов'язане з навчанням на даних». Більша статистика має тенденцію бути всеохоплюючою, еклектичною щодо методології, тісно пов'язаною з іншими дисциплінами, і практикується багатьма за межами традиційної професійної статистики та за межами наукових кіл.

Насправді головне питання полягає в тому, що якщо студент, який навчається за програмою статистики, хоче зробити кар'єру в галузі прикладної статистики в галузі, чому ми повинні навчити його чи її? Як найкраще ми можемо забезпечити його / її ефективність у майбутній ролі? Поряд із регулярними курсами статистики мають існувати курси, пов'язані з різними алгоритмами інтелектуального аналізу даних, та дослідження щодо використання програмного забезпечення, що включає реалізацію цих алгоритмів. Ми повинні піддавати студентів статистики різним базам даних, різним типам наборів даних з різних доменів. Студенти статистики також повинні знати про проблеми зберігання, доступу та маніпулювання великими обсягами даних з ефективною візуалізацією та поданням.

Немає сумнівів, що між статистиками та майнерами даних існує взаємне невігластво. Однією з причин такої взаємної невігластва є консервативність статистики проти ставлення до ризиків у обчислювальній техніці. Зараз широко визнано, що прогрес у видобутку даних вимагатиме злиття думок спеціалістів з обчислювальної техніки та статистиків. Це щось на зразок звинувачення статистичної професії, що мало хто

із статистиків зайнявся глибоким процесом з видобутку даних. Статистики мають чому навчити видобувачів даних, тоді як обробники даних мають багато захоплюючих та нових проблем, на які статистики навіть не почали дивитись. Існує можливість надзвичайно корисної синергії між статистиками та майнерами даних. Однак більшість майнерів даних, як правило, не знають статистики та домену клієнта; статистики, як правило, не знають про аналіз даних та домен клієнта; а клієнти, як правило, не знають про аналіз даних та статистику. На жаль, вони також мають тенденцію стримуватися різними точками зору; інформатики зосереджуються на маніпуляціях з базами даних та алгоритмах обробки; статистики зосереджуються на виявленні та усуненні невизначеностей: а клієнти - на інтеграції знань у своїй області [7–9].

Більшість майнерів даних, як видається, мають відносно невелику офіційну статистичну експертизу. Отже, вони іноді роблять помилки, яких кваліфіковані статистики уникали б такими очевидними. Це означає, що майнери даних повинні брати до уваги статистичну інформацію щодо потенційних можливостей для помилкових асоціацій та суттєвих аспектів проти статистичної значущості, що призводить до вимог щодо підготовки майнерів даних із статистики або випускників статистики в галузі аналізу даних. Цей підхід повинен бути практичним та базуватися на прикладах, і бажано переорієнтувати традиційну навчальну програму статистики, наголошуючи на змінах у зборі та аналізі даних, які виникли за останні п'ятнадцять років.

Видобуток даних та статистика неминуче будуть зростати один до одного найближчим часом, оскільки видобуток даних не стане відкриттям знань без статистичного мислення, статистика не зможе досягти успіху на масивних та складних наборах даних без підходів до аналізу даних. Пам'ятайте, що відкриття знань ґрунтується на трьох збалансованих ногах інформатики, статистики та знань клієнтів; воно не буде стояти ні на одній нозі, ні на двох ногах, ані навіть на трьох невірноважених ногах. Отже, успішне відкриття знань потребує значної співпраці цих трьох спільнот[8].

Усі сторони повинні розширити свою увагу, доки справжня співпраця і видобуток золота не стануть реальністю. Проблема зрілості полягає в тому, щоб майнери даних, статистики та клієнти визнавали свою залежність один від одного і щоб усі вони розширювали свою увагу, доки справжня співпраця не стане реальністю. Найважливішим викликом для нас усіх є розгляд викликів як можливостей для нашого спільного успіху. Усі сторони повинні розширити свою увагу, доки справжня співпраця і видобуток золота не стануть реальністю.

Було б непогано подумати, що дослідники з цих дисциплін об'єднуються, щоб об'єднати свої різні точки зору та підходи, щоб вирішити справді важливі проблеми, з якими ми стикаємось у цьому сучасному світі, багатому на дані. Немає сумнівів, що аналіз даних є «статистично інтелектуальним». Для подальшого обговорення цього конкретного питання читачі можуть проконсультуватися з Ганеш (2002) та Куоненом (2004). Статистичне дослідження видобутку даних активно проводилося в останні роки за допомогою дослідницьких статей, що з'являються в статистичних, а також нестатистичних журналах.

З точки зору розглядуваної проблеми, це має прямий вплив, як узагальнення результатів, якості рекомендацій щодо можливого вдосконалення процесу тощо. Такі речі, як правило, не розглядаються з великою глибиною в будь-якому нестатистичному курсі. Важливо розуміти, що не всі набори даних є масивними. Багато разів він чудово вписується в пам'ять їх місцевого робочого столу чи ноутбука. З огляду на це, для аналітиків даних тим більше важливо більше зосереджуватись на оволодінні наукою та мистецтвом моделювання та аналізу. Отже, курси з видобутку даних, орієнтованих на статистику, повинні бути передбачені в навчальній програмі «статистики». Однак дискусійним питанням найближчого майбутнього є «Чи повинна статистика як поле охоплювати видобуток даних як субдисципліну або залишати це за комп'ютерними вченими?».

Оскільки організації продовжують засипатися величезними обсягами внутрішніх та зовнішніх даних, їм потрібно переганяти цю сировину до ефективних знань із швидкістю, необхідною для їхнього бізнесу.

Підприємства в будь-якій галузі покладаються на Talend, щоб допомогти їм пришвидшити аналіз даних. Наша сучасна платформа для інтеграції даних дає можливість користувачам працювати розумніше і швидше в командах, що дозволяє їм розробляти та розгортати наскрізні завдання інтеграції даних у десять разів швидше, ніж ручне кодування.

Нарешті, звертаючись до питання «Чи слід включати видобуток даних до навчальної програми статистики?», Відповідь неминуче повинна бути захопленим «Так». Зрештою, видобуток даних – це, по суті, статистичний аналіз даних. Оскільки досвід свідчить нам, що статистика як дисципліна має погані результати для своєчасного визнання важливих ідей, тому, безумовно, є шанс поліпшити репутацію цієї дисципліни. Це було б великою втратою для репутації статистики як дисципліни, а також для окремих статистиків, якби ці можливості не були використані [2].

Виклад основного матеріалу та отриманих наукових результатів. Комп'ютерні вчені обіграли статистиків, пропонуючи курси з видобутку даних, з часів значного вдосконалення обчислювальної потужності в 1990-х роках. Однак більшість, якщо не всі ці пропозиції, зосереджені на реалізації ефективних алгоритмів з точки зору машинного навчання. Незважаючи на те, що на третинному рівні пропонуються декілька курсів статистичних методів статистичних досліджень, орієнтованих на послуги, часто через статистичні підрозділи або консультаційні центри, курси зі статистично орієнтованого аналізу даних не були широко доступні в меню.

Ці курси повинні забезпечити широку статистичну перспективу видобутку даних на бакалаврському рівні та орієнтовані на студентів, що спеціалізуються на статистиці, та на тих, хто спеціалізується в таких областях, як інформатика, управління базами даних та бізнес-дослідження. Такі курси повинні

забезпечувати широке висвітлення методів, які часто класифікуються як контрольовані чи неконтрольовані, та передбачати описове або прогнозне введення в моделювання.

Типовий рецепт може мати форму: «... вступ до додатків для інтелектуального аналізу даних, включаючи підготовку та зберігання даних; запити, асоціації, ринкові кошики та методи індукції правил; прогнозування за допомогою регресії, дерев рішень та нейронних мереж; кластеризація з використанням ієрархічних методів та самоврядування – організація карт; класифікація за допомогою дерев та нейронних мереж; візуальний підхід з реальними прикладами та тематичними дослідженнями; використання провідних програмних засобів для обробки даних;...». Просунутий курс статистичного видобутку даних, скажімо на рівні аспірантури, може включати статистичну підтримку загальноновживаних методів, а також широкий спектр нових розробок, таких як генетичні алгоритми, видобуток тексту, алгоритми створення мішків, ударів та посилення, а також байєсівські мережі переконань [6].

В принципі, статистична експертна система буде втілювати велику базу розумного розуміння процесу аналізу даних, яку вона може автоматично застосовувати до відносно невеликого набору даних. Тоді як система аналізу даних, яка втілює невелику базу розумного розуміння, але яка застосовує її до великого набору даних.

В обох випадках заявка є автоматичною, хоча в обох випадках взаємодія з дослідником є принциповою. У статистичній системі експертів програма керує аналізом, дотримуючись статистичної стратегії, оскільки користувач не має достатньої статистичної експертизи для цього. Тоді як у програмі інтелектуального аналізу даних програма керує аналізом, оскільки користувач не має достатньо ресурсів для ручного дослідження мільярдів записів та сотень тисяч потенційних моделей. Для детального уявлення про видобуток даних у порівнянні зі статистикою читачі можуть звернутися до Hand (1998). Враховуючи ці подібності між двома підприємствами, розумно запитати, чи є уроки, які спільнота з видобутку даних може отримати з досвіду роботи статистичної експертної системи. Відповідь, безумовно, «Так».

Сан-Педро та ін. (2012) показали, що створені функції повинні бути теоретично важливими для конструкції для досягнення кращої інтерпретації та ефективності. За їх пропозицією, функції були сформовані як показники здатності вирішувати проблеми, виміряні цим елементом, що підтримується рубрикою оцінювання. Наприклад, одна послідовність дій складалася з чотирьох дій, яка була закодована як "city_con_daily_cancel", що має вирішальне значення для оцінки. Якщо студент спочатку вибрав "city_subway" для екскурсії містом, потім скористався тарифом на концесію студента («концесія»), подивився на ціну щоденного пропуску («щодня») далі і, нарешті, він / вона натиснув «Скасувати», щоб побачити інший варіант, ця послідовність дій необхідна, але недостатня для повного зарахування.

Остаточний перекодований набір даних для аналізу складається з 426 учнів у вигляді рядків та 36 об'єктів (у т.ч. 32 функції послідовності дій та 4 функції часу) у вигляді стовпців. Бали для кожного студента служили відомими позначками при застосуванні контрольованих методів навчання. Частоту кожної генерованої функції дії розраховували для кожного студента. Вибір ознак повинен базуватися як на теоретичній основі, так і на використаних алгоритмах. Оскільки в даному дослідженні особливості були сформовані з чисто теоретичної точки зору, такого вибору не потрібно.

Ще дві проблеми, які потребують розгляду, – це зайві змінні та змінні з невеликою дисперсією. Деревовидні методи добре справляються з цими двома проблемами та мають вбудовані механізми вибору функцій. Важливість особливостей, вказана методами, заснованими на деревах, показана на рис. 3. І в випадковому посиленні лісу, і в градієнті найбільш важливим є "city_con_daily_cancel". Наступним важливим є "other_buy", що означає, що студент не вибрав trip_4 до дії "Buy".

Важливість ознак, вказана методами, заснованими на дереві, особливо корисна, коли вибір потрібно робити серед сотень ознак. Це може допомогти звузити кількість функцій для відстеження, аналізу та інтерпретації. Точність класифікації машини опорного вектора (SVM) знижується через надлишкові змінні. Однак, враховуючи кількість ознак (36) у цьому дослідженні порівняно невелика, видалення високорельованих змінних ($\rho \geq 0,8$) не покращило точність класифікації для SVM.

Це дослідження демонструє, як за допомогою методів видобутку даних зібрати обрані особливості (як дії, так і час) із результатами роботи учнів за цим предметом для вирішення проблем у 2012 PISA. З огляду на те, що результати балів студентів доступні у файлі даних, алгоритми контрольованого навчання можна навчити, щоб допомогти класифікувати студентів на основі їх відомих показників результатів (тобто, бальної категорії) у наборі даних тренінгу, тоді як неконтрольовані алгоритми навчання класифікують учнів на групи на основі вхідних змінних не знаючи їх продуктивності. Жодних припущень щодо розподілу даних щодо цих методів видобутку даних не робиться [5-9].

Для розробки класифікаторів досліджуються чотири контрольовані методи навчання: Дерево класифікації та регресії (CART), посилення градієнта, випадковий ліс та SVM, тоді як для подальшого вивчення використовуються два некеровані методи навчання – Карта самоорганізації (SOM) та k-засоби. різні стратегії, що використовуються студентами як в одній і тій же категорії, так і в різних балах.

CART був обраний, оскільки він ефективно працював у попередньому дослідженні (DiCerbo and Kidwai, 2013) і відомий своїми швидкими обчисленнями та простою інтерпретацією. Однак він може не мати оптимальних показників порівняно з іншими методами. Крім того, невеликі зміни даних можуть кардинально змінити структуру дерева (Kuhn, 2013). Таким чином, посилення градієнта та випадковий ліс, які можуть покращити продуктивність дерев за допомогою ансамблевих методів, також використовувались для порівняння. Хоча SVM ще не застосовувався багато в аналізі даних процесу, він застосовувався як одна

з найпопулярніших та гнучких контрольованих методик навчання для інших психометричних аналізів, таких як автоматичний бал (Vapnik, 1995). Два алгоритми кластеризації, SOM і k-середні, були застосовані при аналізі даних процесу в файлах журналів (Stevens and Casillas, 2006; Fossey, 2017). Дослідники пропонують використовувати кілька методів кластеризації для перевірки рішень кластеризації (Xu et al., 2013). Всі аналізи проводилися у програмній програмі Rstudio (RStudio Team, 2017).

По-перше, для демонстрації аналізу даних процесу, використовуючи як контрольовані, так і неконтрольовані методи, у поточному дослідженні були представлені конкретні кроки у формуванні ознак, виборі ознак, розробці класифікатора та оцінці результатів. Серед усіх етапів генерація ознак була найважливішою, оскільки якість ознак значною мірою визначає результати класифікації.

Хороші особливості слід створювати на основі глибокого розуміння процедури підрахунку предметів та конструкції. Ключові послідовності дій, що дозволяють розрізнити правильні та неправильні відповіді, слугували особливостями з хорошою продуктивністю. Несподівано характеристики часу, включаючи загальний час відгуку та його частини, не виявились важливими ознаками для класифікації. Це означає, що значні розбіжності у часі відповіді існували в кожній групі балів, і різниця у розподілі часу відповіді між групами була недостатньо великою, щоб чітко розмежувати групи.

Це дослідження породило особливості, засновані на теоретичних уявленнях про конструкцію, що вимірюється та використовується студентами як одиниця аналізу. Дані можуть бути структуровані іншими способами відповідно до різних дослідницьких питань. Наприклад, замість використання студентів як одиниці аналізу, зроблені студентами спроби можуть бути використані як рядки, а дії – як стовпці, тоді спроби можна класифікувати замість людей. Фоссі (2017) включив детальний підручник з алгоритмів кластеризації з такою структурою даних в оцінку на основі гри.

По-друге, для оцінки узгодженості класифікації цих часто використовуваних методів видобутку даних, поточне дослідження порівнювало чотири контрольовані методи з різними властивостями, а саме CART, посилення градієнта, випадковий ліс та SVM. Всі чотири методи досягли задовільної точності класифікації на основі різних вимірювань результатів, при цьому посилення градієнта показало дещо кращу загальну точність та значення Каппи. Загалом, легка інтерпретація та графічна візуалізація – головні переваги дерев. Дерев також добре справляються з галасливими та неповними даними (James et al., 2013).

Однак на дерева легко впливати навіть незначні зміни даних через його ієрархічну структуру розбиття (Hastie et al., 2009). SVM, навпаки, добре узагальнює, оскільки як тільки гіперплан знайдено, незначні зміни даних не можуть сильно вплинути на гіперплан (James et al., 2013). З огляду на конкретний набір даних у поточному дослідженні, навіть метод CART працював дуже добре. Крім того, метод CART можна легко зрозуміти та надати достатньо інформації про детальну класифікацію між кожною категорією балів та всередині них.

Таким чином, на основі результатів поточного дослідження, методу CART достатньо для майбутніх досліджень на подібних наборах даних. Алгоритми навчання без нагляду, SOM та k-середні, також показали збіжні результати кластеризації на основі значень DBI та Карра. В остаточному рішенні кластеризації студенти були згруповані в 9 кластерів, розкриваючи конкретні процеси вирішення проблем, які вони пройшли [2–5].

По-третє, контрольовані та неконтрольовані методи навчання служать для відповіді на різні дослідницькі питання. Методи навчання під контролем можуть бути використані для навчання алгоритму прогнозування членства в майбутніх даних, наприклад автоматичного підрахунку балів.

Методи, що не контролюються, можуть виявити закономірності стратегії вирішення проблем та ще більше розмежувати учнів в одній і тій же категорії балів. Це особливо корисно для цілей формування. Студентам можуть бути надані більш докладні та індивідуальні діагностичні звіти. Вчителі можуть краще зрозуміти сильні та слабкі сторони учнів і відповідно скорегувати інструкції в класі або забезпечити більш цілеспрямоване навчання для конкретних учнів.

Крім того, необхідно перевірити будь-які вказівки на шахрайство в помилково класифікованих або відхиленіх випадках від обох типів методів аналізу даних. Наприклад, студенти правильно відповіли на питання протягом надзвичайно короткого проміжку часу, що може означати компроміс.

Це дослідження має свої обмеження. Інші методи видобутку даних, такі як інші алгоритми дерев рішень та алгоритми кластеризації, варті вивчення. Однак процедуру, продемонстровану в цьому дослідженні, можна легко узагальнити до інших алгоритмів. Крім того, шість методів порівнювали на основі одного і того ж набору даних, а не даних за різних умов. Тому узагальнення поточного дослідження обмежене через такі фактори, як обсяг вибірки та кількість ознак.

У майбутніх дослідженнях можна використовувати більший обсяг вибірки та виділити більше функцій із більш складних сценаріїв оцінки. Нарешті, основне увагу приділено поточному дослідженню лише для одного предмета з дидактичною метою. У майбутньому дослідженні можна одночасно аналізувати дані процесу для більшої кількості предметів, щоб отримати всебічне уявлення про студентів.

Підводячи підсумок, вибір методів аналізу даних для аналізу даних процесу в процесі оцінки залежить від мети аналізу та структури даних. Контрольовані та неконтрольовані методи, по суті, служать різним цілям для видобування даних, причому перший – як підтверджуючий підхід, а другий – як дослідницький.

Кластеризація є загальним завданням під час аналізу дослідницьких даних. Навчальним завданням без нагляду є виявлення значущих групувань даних у класи, які заздалегідь не відомі («апріорі» чи

«попередні»), а навпаки, вивчаються з даних. При кластеризації точки в наборі даних групуються таким чином, що точки в межах даної групи в певному сенсі більш схожі між собою, ніж точки поза групою. Такий аналіз дослідницьких даних корисний у нашому контексті, оскільки може допомогти розкрити загальні профілі слуху чи способу життя. Наприклад, аудіограми можна кластеризувати, щоб аудіограми подібної форми віднести до однієї групи (Lee, Hwang, Hou, & Liu, 2010). Зведена статистика вивчених кластерів часто може надати більш інформативний, високорівневий погляд на склад користувачів і, можливо, навіть на етіологію.

Крім того, така кластеризація може сприяти вибору конкретного пристрою, пристосованого для кращого відповідності загальним профілям, наприклад, зворотного нахилу у порівнянні з аудіограмами пресбіакузису. З новим на ринку пристроєм, коли пов'язана база даних зростала, такий вибір можна було перевірити, порівнюючи показники результатів між пристроями. Поняття «хорошої» (як у розумній та надійній) групуванні може досить сильно відрізнятись, і тому в літературі з аналізу даних є численні алгоритми кластеризації.

Простим, але часто ефективним робочим способом для кластеризації є К-засоби (Wu & Kumar, 2009, с. 21–33). К-означає – це метод пошуку кількості кластерів К, такий, що сума дисперсії всіх кластерів зведена до мінімуму. Це робиться щодо деякого метричного простору, який зазвичай є евклідовим. Засіб багатовимірного інтелектуального аналізу даних повинен знаходити закономірності як в тих, що деталізуються, так і в агрегованих з різним ступенем узагальнення даних.

Аналіз багатовимірних даних повинен будуватися над гіперкубом спеціального вигляду, вічка якого містять не довільні чисельні значення (кількість подій, об'єм продажів, сума зібраних податків), а числа, що визначають вірогідність відповідного поєднання значень атрибутів.

Проекції такого гіперкуба (що виключають з розгляду окремі вимірювання) також повинні досліджуватися на предмет пошуку закономірностей. J. Han пропонує ще більш просту назву – "OLAP Mining" і висуває декілька варіантів інтеграції двох технологій:

- "Cubing then mining". Можливість виконання інтелектуального аналізу повинна забезпечуватися над будь-яким результатом запиту до багатовимірного концептуального уявлення, тобто над будь-яким фрагментом будь-якої проекції гіперкуба показників;

- "Mining then cubing". Подібно даним, витягнутим з сховища, результати інтелектуального аналізу повинні представлятися в гіперкубічній формі для подальшого багатовимірного аналізу;

- "Cubing while mining". Цей гнучкий спосіб інтеграції дозволяє автоматично активізувати однотипні механізми інтелектуальної обробки.

Видобуток даних може запропонувати великі перспективи для пошуку нових та складних взаємозв'язків у наборах даних, але через розмір наборів даних та кількість порівнянь, зроблених під час видобутку, багато з них можуть бути помилковими. Окрім статистичної впевненості, завжди потрібні інтерпретація та перевірка експертів для того, щоб надати контекст та витягти потенційну цінність із отриманих результатів. Несподівані висновки, якщо вони можуть призвести до генерування раціональних гіпотез, можуть викликати нові напрямки цілеспрямованих досліджень [1–3].

Для такого завдання, як класифікація або регресія, метою є прогнозована сила вивченої моделі на нових екземплярах даних, що викликає кілька запитань: (а) де щойно отриманий набір даних вписується в шаблони з історичних наборів даних, і, якщо цього не відбувається, (б) чи потребує оновлення модель, і нарешті, (с) як це впливає на наші рішення щодо управління пацієнтами? Модель, яка не узагальнює можливість отримувати розумні прогнози за новими даними, а моделює лише навчальні дані, називається «переобладнаною» і порівняно марною.

Висновки та перспективи подальшого розвитку у цьому напрямі. Отже, ефективність моделі слід оцінювати на основі даних, які є окремими від даних, що використовуються для навчання або оновлення моделі. Передбачувана ефективність моделі на основі навчальних даних буде надмірно впевненою, оскільки модель може бути адаптована відповідно до побачених даних і, отже, може перевершити дані. Це аналогічно забезпеченню студента відповідями перед іспитом, щоб він міг вивчити їх напам'ять і очікувати, що їх результати іспиту будуть неупередженим показником знань студента з загальної теми.

Статистики та майнери даних вирішують подібні проблеми. Однак через історичні відмінності та відмінності в характері проблем існують певні відмінності в підходах. Існує очевидний потенціал, можливості та навіть ажіотаж у видобутку даних для відкриття у великому наборі даних. Жвава дискусія щодо проблеми «Різниця між статистикою та видобутком даних» дійшла висновку, що неважливо те, що ви називаєте цим або видобуванням даних, або статистикою.

Оскільки «обчислення» відіграють важливу роль у процесі видобутку даних, то інформатики мають значні претензії щодо права власності на видобуток даних. Тим не менше, методи аналізу даних, як правило, мають статистичну базу; і статистики починають виявляти значний інтерес до цієї області, включаючи пропонування вищих курсів з видобутку статистичних даних. Подальші загальні читання щодо видобутку даних та статистики можна знайти в таких посиланнях, як Berry and Linoff (1997, 2000), Chatfield (1997), Friedman (1998), Hand (1999a, 1999b), Hastie et al. (2001).

Для ефективного використання наявних даних, отримуючи менш упереджену оцінку ефективності, ми застосовуємо процедуру, яка називається «N-кратна перехресна перевірка». Вибирається кількість складок, N (загальний вибір N дорівнює 10) для того, щоб розділити дані на N окремих підпроб за допомогою «складок», розділів набору даних. Для кожної з N моделей, що підлягають навчанню, для

тестування моделі зберігається одна підпроба, обмежена межами згину, тоді як решта $N-1$ підпроби використовуються для підготовки тієї самої моделі. Це дасть N неупереджених оцінок ефективності. Якщо оцінки ефективності, отримані з даних тренувань, високі, а оцінки тестування низькі, то модель переобладнала дані і не узагальнила добре.

Обидві технології можна розглядати як складові частини процесу підтримки ухвалення рішень. Проте ці технології як би рухаються у різних напрямках: OLAP зосереджує увагу виключно на забезпеченні доступу до багатовимірних даних, а методи Data Mining в більшості випадків працюють з плоскими одновимірними таблицями і реляційними даними.

Інтеграція технологій OLAP і Data Mining «збагатила» функціональність і однієї, і іншої технології. Ці два види аналізу повинні бути тісно з'єднано, щоб інтегрована технологія могла забезпечувати одночасно багатовимірний доступ і пошук закономірностей.

Література

1. Брайан Ларсон. Розробка бізнес-аналітики в Microsoft SQL Server 2005. – Санкт-Петербург: Пітер, 2008. – 688 с.
2. Каленік А. І. Використання нових функцій Microsoft SQL Server 2005. – Санкт-Петербург: Петро, 2006. – 334 с.
3. Барсегян А.А., Купріянов М.С., Степаненко В.В., Холод І.І. Методи та моделі аналізу даних: OLAP та Data Mining. – СПб: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
4. Вступ до аналізу асоціативних правил – Доступно за посиланням: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/association_rules/intro/>
5. Дата К. Дж. Вступ до систем баз даних, 8-е видання. – М.: Видавництво Вільямса, 2005. – 1328 с.
6. Основи баз даних: курс лекцій: підручник / С.Д. Кузнєцов. – Москва: Інтернет-університет Інформ. Технології, 2005. – 488с.
7. С. Я. Архипенко, Д. В. Голубєв, О. Б. Максименко. Сховища даних. Від концепції до реалізації. – М.: Діалог-МІФІ, 2002. – 528 с.
8. Брюс Еккель. Філософія JAVA, бібліотека програміста. 3-є вид. – СПб.: Питер, 2003. – 638 с.
9. Microsoft SQL Server 2005 Analysis Services. OLAP та багатовимірний аналіз даних. За редакцією А. Бергера, І. Горбача. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 908 с.
10. MacLennan J., Tang Z. Data Mining With SQL Server 2005. – Індіанapolis.: Wiley, 2005. – 296 с.
11. Уллман Д., Вітер Д. Вступ до систем баз даних. – М.: Лорі, 2000. – 1328 с.
12. Гансен Г., Гансен Г. Бази даних: розробка та управління. – М.: БІНОМ, 1999. – 296 с.

Reference

1. Berry, J. and Linoff, G. (1997), Data mining techniques-for marketing, sales and customer support, Williams Publishing House, New York: Wiley, USA.
2. Berry, J.A.M. and Linoff, G. (2000), Mastering data mining -the art and science of customer relationship management, Williams Publishing House, New York: Wiley, USA.
3. Chatfield, C. (1997), Royal statistical society news, Williams Publishing House, New York: Wiley, USA.
4. Friedman, J. (1998), Data mining and statistics-what's the connection, 29th Symposium on the interface, Williams Publishing House, Cape Town, South Africa.
5. Hand, D. (1998), Data mining-statistics and more, Williams Publishing House, New York: Wiley, USA.
6. Hand, D. (1999), Data mining-new challenges for statisticians, Williams Publishing House, New York: Wiley, USA.
7. Hand, D.J. (1999), Statistics and Data mining-intersecting disciplines, SIGKDD Explorations, New York: Wiley, USA.
8. Hastie, T. Tibshirani, R. and Friedman, J. (2001), Elements of statistical learning-data mining inference and prediction, Williams Publishing House, New York: Wiley, USA.
9. Kuonen, D. (2004), Data mining and Statistics: What is the connection, The Data Administrative Newsletter, Wiley, USA.

Надійшла / Paper received: 23.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 04.06.2020

ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ЛІНГВІСТИЧНОГО СЛОВНИКА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРСОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕБ-КОРИСТУВАЧА

У статті представлено результати проектування та розроблення спеціалізованого словника для визначення персональних характеристик веб-користувача. У дослідженні розроблено метод дослідження інформаційних слідів веб-користувачів, який передбачає, на відміну від інших методів, використання спеціалізованого словника соціально-демографічних маркерів, що дало змогу сформувати систему лінгво-комунікативних індикаторів для верифікації даних користувачів віртуальних спільнот. У процесі верифікації веб-контенту спеціалізований словник соціально-демографічних маркерів виконує фундаментальну функцію, оскільки соціально-демографічні маркери є основною складовою комп'ютерно-лінгвістичного аналізу інформаційного сліду користувачів веб-спільноти.

Ключові слова: віртуальні спільнота, спеціалізований лінгвістичний словник, персональні характеристики, веб-користувач, інформаційна схема.

S. FEDUSHKO, YU. SYEROV
Lviv Polytechnic National University

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SPECIALIZED LINGUISTIC DICTIONARY TO DETERMINE THE PERSONAL CHARACTERISTICS OF A WEB USER

The study examines the results of designing and developing a specialized dictionary to determine the personal characteristics of a web user. The study developed a method of studying the information traces of web users, which involves the use of a specialized dictionary of socio-demographic markers. Using this method allows to form a system of linguistic and communicative indicators for verification of data of users of virtual communities. Scientific novelty of research results is a scientific justification and implementation of the first stage in the development of methods and means of computerized linguistic analysis of the reliability of the personal characteristics of users of communities is the design and development of specialized linguistic dictionary to determine the personal characteristics of web users. The purpose of the study is to develop a system of linguistic and communicative indicators based on a specialized dictionary of socio-demographic markers formed by analyzing the information traces of the educational sample of users of virtual communities. In this study, based on the developed method of research of information traces of web users, which provides, unlike other methods, will be designed and implemented for use a specialized dictionary of socio-demographic markers, which will form a system of linguistic and communicative indicators to verify data of users' web communities. Modelling of the information scheme of the dictionary is performed with the help of diagrammatic means of structural modelling. The means of forming personal portraits of users of virtual communities are built on the basis of modern web technologies. Socio-demographic characteristics are determined using markers contained in a specialized dictionary. The structure of the dictionary is developed according to the scheme of linguistic-communicative indicators of social and demographic characteristics. During verification, a specialized dictionary sociodemographic marker performs a fundamental function as socio-demographic markers are the main component of computerized linguistic analysis of the information track web user community. It is impossible to verify socio-demographic characteristics without a database of socio-demographic markers. Socio-demographic markers are a key link in the process of forming sets of linguistic-communicative indicators that indicate the affiliation of a web user to a certain socio-demographic characteristics.

Keywords: virtual community, specialized linguistic dictionary, personal characteristics, web user, information scheme.

Вступ. В час кризи COVID-19 спричиненої пандемією та світовим карантинном практично уся соціальна та професійна діяльність людства перейшла у віртуальний світ, де є надлишок анонімності та високий рівень кібер-небезпеки. Розроблення дієвих методів аналізу веб-контенту, а саме, проектування та розроблення спеціалізованого словника для визначення персональних характеристик веб-користувача, є затребуваним у сьогочасних складних умовах в соціумі. Новизна результатів дослідження полягає у виконанні першого етапу у процесі розроблення методів та засобів комп'ютерно-лінгвістичного аналізу достовірності персональних характеристик користувачів веб-спільнот – проектування та розроблення спеціалізованого лінгвістичного словника для визначення персональних характеристик веб-користувача. Мета дослідження – розробити систему лінгво-комунікативних індикаторів на основі спеціалізованого словника соціально-демографічних маркерів сформованого шляхом аналізу інформаційних слідів навчальної вибірки користувачів віртуальних спільнот. У цьому дослідженні на основі розробленого методу дослідження інформаційних слідів веб-користувачів, який передбачає, на відміну від інших методів, буде спроектовано та запроваджено для використання спеціалізований словник соціально-демографічних маркерів, що дасть змогу сформувати систему лінгво-комунікативних індикаторів для верифікації даних користувачів віртуальних спільнот.

Аналіз досліджень та публікацій. Соціально-демографічна ідентичність веб-особистості користувача різноманітних соціальних комунікацій всесвітньої мережі перебуває в полі уваги багатьох суміжних наук: соціології, політології, психології, культурології, менеджменту, етнології, криміналістики, ораторського мистецтва, економіки тощо. Враховуючи це, з метою дослідження варіативних ідентичностей і самопрезентації у віртуальних спільнотах веб-користувача, віртуальну ідентифікацію слід аналізувати, застосовуючи міждисциплінарні підходи. Саме міждисциплінарний комплексний підхід використано для розроблення моделей та методів організації життєвого циклу віртуальної спільноти [1] та для моделювання

програмного комплексу перевірки особистих даних веб-користувачів [3]. Окремими важливими напрямками у досліджень є аналіз значення та складання словника [2], аналіз спеціалізованих словників [4], мультимодальної комунікації користувачів Інтернету [5], використання нечікої логіки для моделювання поведінки людини [6], аналіз лексикографічних внесок феміністичних словників [7]. Науковці активно досліджують мовні особливості емоційних лінгвістичних компонентів у дискурсі [8], семантичний аналіз для виявлення інформаційних та комунікаційних загроз користувачів онлайн-сервісів [9] та аналізують гендерні відмінності у онлайн-комунікації [10].

Розробка структури спеціалізованого словника для визначення персональних характеристик веб-користувача. Моделювання інформаційної схеми словника виконано за допомогою діаграмних засобів структурного моделювання. Засоби формування персональних портретів користувачів віртуальних спільнот побудовано на основі сучасних веб-технологій. Соціально-демографічні характеристики (СДХ) визначаємо за допомогою маркерів, які містяться у спеціалізованому словнику. Структуру словника розроблено відповідно до схеми лінгво-комунікативних індикаторів СДХ. Для моделювання інформаційної схеми обрано нотацію Баркера. Розглянемо інформаційну схему словника, що наведено на рис. 1, прокоментувавши сутності та їхні основні атрибути.

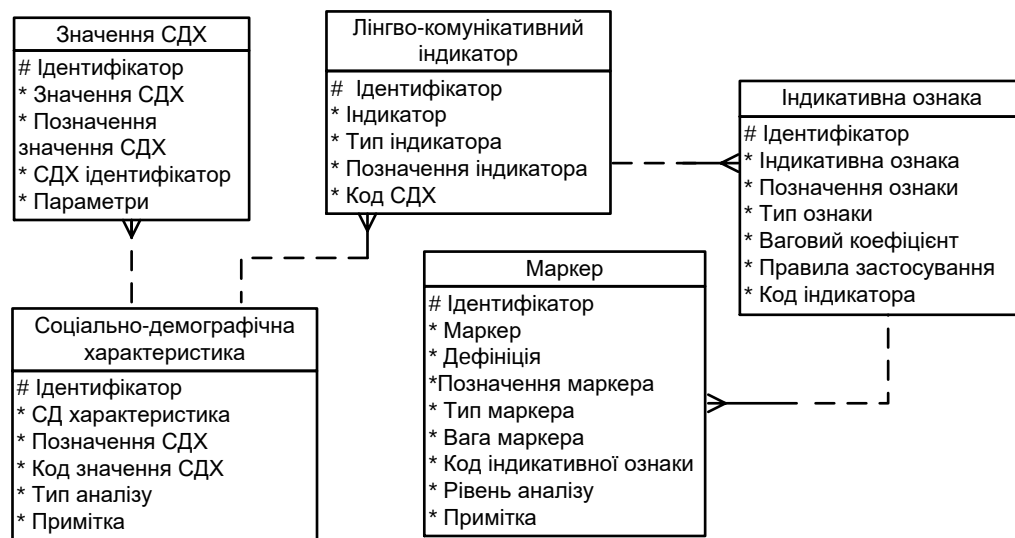


Рис. 1. Інформаційна схема словника маркерів персональних характеристик веб-користувача

Сутність «Соціально-демографічна характеристика» містить дані про соціально-демографічні характеристики, на основі яких будується соціально-демографічний портрет (profile) веб-користувача.

Залежно від типу інформаційного наповнення, створеного користувачем віртуальної спільноти, аналіз проводимо певним способом.

Атрибут «СД характеристика» містить найменування всіх досліджуваних СД характеристик, які є складовими СД портрету. Можливими значеннями цього атрибуту є: *Вік, Гендер, Освіченість та Сфера діяльності*. Цим значенням атрибуту відповідають значення **Атрибуту «Позначення СДХ»**, який містить: *Age, Gend, Edu та Sphere*.

Атрибут «Тип аналізу» містить конкретні типи аналізу, наприклад, *«Лінгвістичний»*, якщо проводимо аналіз лексичних одиниць, та *«Графічний»* – у випадку наявності у інформаційному наповненні графічних елементів та фотоматеріалів.

Сутність «Значення СДХ» містить інформацію про значення, які присвоюються конкретній СДХ користувача ВС. Кожна СДХ має два значення. Тож відповідно, **Атрибут «Значення СДХ»** містить найменування значення СДХ відповідно до **Атрибути «СДХ ідентифікатор»**.

Так, СДХ атрибуту присвоюють одне з двох значень: *Чоловік /Жінка*, для СДХ вік – *Підліток / Дорослий*, для СДХ сфера діяльності – *Формальні науки/Природничі науки / Суспільні науки*, для СДХ рівень освіченості – *Високосвічений / Достатньоосвічений/Низькоосвічений*.

Для зручності дослідження та систематизації ознак кожному значенню присвоюється унікальне позначення. Напр., *M/F, Ado/Adu, FSc/LSc/SSc та HEdu/MEdu/LEdu*. Ці значення зберігаються у **Атрибути «Позначення значення СДХ»**.

Сутність «Лінгво-комунікативний індикатор» містить інформацію за допомогою якої адміністратор ідентифікує аутентифікованого користувача віртуальної спільноти, групу користувачів та їх СД належність. Кожен лінгво-комунікативний набір містить лише унікальні індикатори.

Атрибут «Тип індикатора» містить набори лінгво-комунікативних індикаторів, які є результатом комп'ютерно-лінгвістичного аналізу інформаційних слідів конкретних користувачів веб-спільнот. Так, прикладом лінгво-комунікативного індикатора СДХ є:

– СДХ вік – *«Сленгова варіація»*, *«Текстова економія»*, *«Некодифіковані одиниці та невербальні засоби»* тощо;

- СДХ гендер – «Емоційна складова», «Спосіб вираження змісту», «Конкретизація» тощо;
- СДХ рівень освіченості – «Комбінації літер», «Комбінації символів», «Використання транслітерації»

тощо;

- СДХ сфера діяльності – «Фізико-математична, технічна та економічна сфера», «Медицина сфера», «Юридична сфера» тощо.

Кожний індикатор має унікальне позначення, що міститься у Атрибуті «Позначення індикатора». Прикладом таких позначень відповідно є: СДХ вік – "AGE-B", "AGE-D" та "AGE-E" тощо; СДХ гендер – "GENDER-A", "GENDER-F" та "GENDER-K" тощо; СДХ рівень освіченості – "EDU-A", "EDU-C" та "EDU-E" тощо; СДХ сфера діяльності – "SPHERE-A", "SPHERE-E" та "SPHERE-J" тощо.

Сутність «Індикативна ознака» містить дані про набори індикативних ознак, які властиві веб-комунікації конкретного користувача віртуальної спільноти.

Атрибут «Тип ознаки» містить іменування типу індикативної ознаки. Так, наприклад, індикативні ознаки: «Вказівка на особу, подію тощо», «Вказівка на особу, яка говорить про себе» та «Вказівка на кількох мовців», належать до лінгво-комунікативного індикатора гендеру користувача ВС – «Вказівка та інструкція».

Кожній індикативній ознаці присвоюється позначення, тобто певною міткою, для подальшої ідентифікації цих ознак. Ці дані містяться у Атрибуті «Позначення ознаки». Наприклад, позначення індикативних ознак ЛКІ (лінгво-комунікативний індикатор) гендеру користувачів веб-спільноти «Вказівка та інструкція» (GENDER-D) є D(1.1), D(1.2) та D(1.3). Атрибут «Ваговий коефіцієнт» містить інформацію про коефіцієнт міри вираження конкретного маркера СДХ у інформаційному сліді користувачів веб-спільнот.

Атрибут «Правила застосування» містить інформацію про використання шаблонів регулярних виразів для виявлення СД маркерів у інформаційному сліді користувачів веб-спільнот.

Сутність «Маркер» містить дані про мовні та графічні ознаки, які вказують на належність користувача веб-спільноти до конкретної СДХ. Визначення маркерів інтернет-комунікації конкретного УВС здійснюється з допомогою аналізу у його інформаційного сліду.

Атрибут «Дефініція» містить стисле логічне визначення, яке містить у собі найістотніші ознаки конкретного маркера. Наприклад, лінгвістичний маркер «холівар» – одвічна суперечка на комп'ютерну

тематику; графічний маркер «:-)» або «» – зашарітись, засоромитись, зніяковіти. Атрибут «Позначення маркера» містить унікальне позначення кожного маркера. Ймовірні значення цього атрибуту: M(1), M(2), M(3)... M(N).

В контексті належності до відповідної індикативної ознаки відповідного лінгво-комунікативного індикатора відповідної СДХ виглядає наступним чином: M(45)-AGE-B(1.2), тобто лінгвістичний маркер «холівар» індикативної ознаки «Комп'ютерний слег» лінгво-комунікативного індикатора «Сленгова варіація» значення соціально-демографічної характеристики «Підліток» СДХ «Вік»; M(76)-GENDER-A(1.1), тобто графічний маркер ":-[" індикативної ознаки «Згадка про емоції та почуття» лінгво-комунікативного індикатора «Емоційна складова» значення соціально-демографічної характеристики «Жінка» СДХ «Гедер». Атрибут «Тип маркера» містить інформацію про типи маркерів. Так, цей атрибут може приймати такі значення, як: «Лінгвістичний» або «Графічний».

Важливість маркера визначається його вагою. Вага маркера обраховується методом групового урахування аргументів. Значення ваги кожного маркера міститься у Атрибуті «Вага маркера» містить.

Аналіз інформаційного сліду користувача веб-спільноти може здійснюватися тільки на певному рівні або на всіх можливих рівнях. Інформація про можливий рівень аналізу кожного маркера міститься у Атрибуті «Рівень аналізу». Наприклад, відповідно до аналізу ІС маркери типу «Лінгвістичний маркер» можуть приймати такі значення: «аналіз на рівні слів», «аналіз на рівні фраз» та «аналіз на рівні речень», а маркери типу «Графічний маркер» – «аналіз аватару», «аналіз графічного підпису» та «аналіз графічних символів вираження емоцій».

Вибір та опрацювання персональних характеристик користувачів веб-спільноти, які є важливими для модерування спільнотами і потребують перевірки на достовірність, здійснюється згідно з формальною моделлю СД характеристик. Для функціонування компоненти необхідні дані, які є результатами роботи компонент:

1. Компонента формування наборів лінгво-комунікативних індикаторів.
2. Компонента формування інформаційного сліду.

При умові хоча б базового формування інформаційного сліду та наборів лінгво-комунікативних індикаторів компонента є логічним продовженням процесу перевірки достовірності персональних характеристик користувачів віртуальних спільнот.

Формування наборів лінгво-комунікативних індикаторів здійснюється на основі спеціалізованого словника соціально-демографічних маркерів, який постійно оновлюється.

Головними функціями компоненти валідації персональних характеристик є:

- виявлення недостовірної інформації у обліковому записі користувача віртуальної спільноти методом комп'ютерно-лінгвістичного аналізу інформаційного сліду цього користувача;
- формування звіту для модераторів віртуальної спільноти, у випадку недостатньої кількості даних, для здійснення верифікації одної чи декількох соціально-демографічних користувача віртуальної спільноти;
- повідомлення модератора про неповноту заповнення спеціалізованого словника соціально-демографічних маркерів та некоректне формування на його основі наборів лінгво-комунікативних індикаторів.

Результати роботи цієї компоненти є вхідними даними для компоненти побудови соціально-демографічного портрета.

Розроблення словника соціально-демографічних маркерів користувача веб-спільноти. У процесі верифікації спеціалізований словник соціально-демографічних маркерів виконує фундаментальну функцію, оскільки соціально-демографічні маркери є основною складовою комп'ютерно-лінгвістичного аналізу інформаційного сліду користувачів веб-спільноти. Отож, без наявності бази соціально-демографічних маркерів здійснення верифікації соціально-демографічних характеристик є неможливим. Саме соціально-демографічні маркери є ключовою ланкою у процесі формування наборів лінгво-комунікативних індикаторів, що вказують на належність веб-користувача до певної соціально-демографічної характеристики. Користувачський інтерфейс спеціалізованого словника СД маркерів веб-користувача представлено на рис. 2.

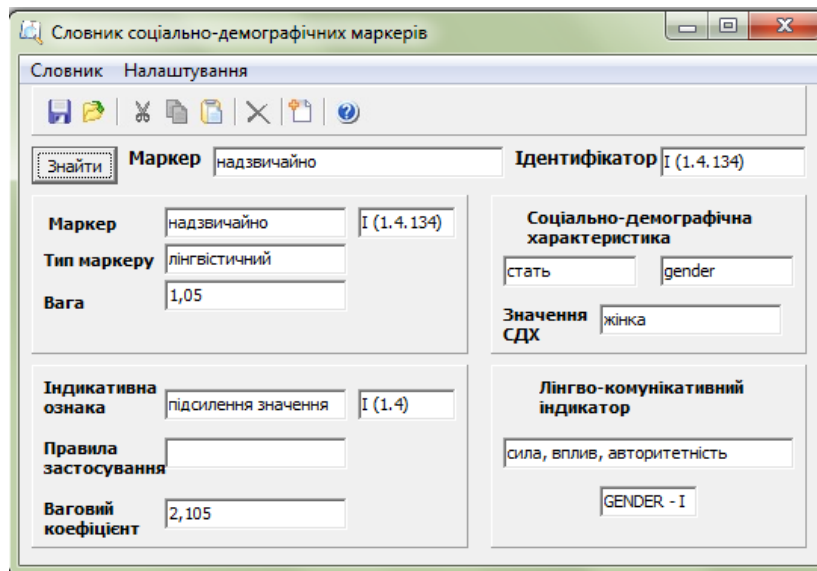


Рис. 2. Користувачський інтерфейс словника СД маркерів веб-користувача

Спеціалізований словник персональних характеристик користувачів віртуальних спільнот виконує функцію великої бази СД маркерів. Формування цієї бази відбувалось за таким алгоритмом:

- уніфікація, структурування та впорядкування за визначеним шаблоном величезного масиву веб-контенту;
- методом комп'ютерно-лінгвістичного аналізу та аналізу праць фахівців у різних галузях визначення маркерів користувачів веб-спільноти, що належить до конкретної соціально-демографічної характеристики;
- наповнення спеціалізованого інформаційного словника;
- в автоматизованому режимі системна адаптація бази словника відповідно до тематики, специфіки віртуальної спільноти та інтернет-комунікації веб-користувачів, які до неї належать;
- інтегрування словника у програмний засіб «Верифікатор персональних характеристик веб-користувача».

Вимоги до вмісту словника соціально-демографічних маркерів окреслено у його інформаційній моделі. Базуючись на даних цієї моделі та з врахування усіх потреб та специфіки веб-спільнот, розроблено інтерфейс словника СД маркерів, який необхідний для верифікації персональних характеристик веб-користувачів.

Висновки. Підтримка наповнення спеціалізованого лінгвістичного словника соціально-демографічних маркерів веб-користувача в актуальному стані та дотримання чіткої структури лінгво-комунікативних індикаторів є ключовими чинником у якості та надійності результатів верифікації персональних характеристик користувача віртуальної спільноти. Також від цих факторів залежать результати верифікації користувачів віртуальної спільноти. На основі результатів цього дослідження планується проектування та розроблення програмного засобу для верифікації персональних характеристик веб-користувача.

Література

1. Trach O. Development of Models and Methods of Virtual Community Life Cycle Organization / O. Trach, A. Peleshchysyn // Advances in Artificial Systems for Medicine and Education II. AIMEE2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, Cham. – 2018. – Vol. 902. – P. 473–483.
2. Nida Eugene A. Analysis of meaning and dictionary making / A. Nida Eugene // International Journal of American Linguistics. – 1958. – 24.4. – P. 279–292.
3. Fedushko S. Modeling software complex for web user personal data verification / S. Fedushko // Управління розвитком складних систем. – 2016. – 26. – P. 105–110.
4. Rice D. R. Corpus-based dictionaries for sentiment analysis of specialized vocabularies / D. R. Rice, C. Zorn // Political Science Research and Methods. – 2013. – P. 1–16.
5. Xie B. Multimodal computer-mediated communication and social support among older Chinese internet users / B. Xie // Journal of Computer-Mediated Communication. – 2008. – 13(3). – P. 728–750.

6. Ören T.I. Personality Representation Processable in Fuzzy Logic for Human Behavior Simulation / T.I. Ören, N. Ghasem-Aghaei // Proceedings of the 2003 Summer Computer Simulation Conference. – Montreal, PQ, Canada. – 2003. – P. 11–18.
7. Russell L. R. This is what a dictionary looks like: The lexicographical contributions of feminist dictionaries / L. R. Russell // International Journal of Lexicography. – 2012. – 25(1). – P. 1–29.
8. Amaghlobeli N. Linguistic features of typographic emoticons in SMS discourse / N. Amaghlobeli // Theory and Practice in Language Studies. – 2012. – 2(2). – P. 348.
9. Fedushko S. Semantic analysis for information and communication threats detection of online service users / S. Fedushko, E. Benova // Procedia Computer Science. – 2019. – 160. – P. 254–259.
10. Babal J. C. Linguistic analysis of pediatric residency personal statements: gender differences / J. C. Babal, A. D. Gower, J.G. Frohna, M. A. Moreno // BMC medical education. – 2019. – 19(1). – 392.

Надійшла / Paper received: 11.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 04.06.2020

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА (124, 125)

УДК: 004.65:379.8

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-12

А. О. АЗАРОВА, Л. М. ЛЯХОВИЧ

Вінницький національний технічний університет

РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХИЩЕНОГО КОНСОЛІДОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО
РЕСУРСУ ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОННОГО ВРЯДУВАННЯ

Метою статті є оптимізація процесів оброблення інформаційних потоків та забезпечення інформаційної безпеки засобів електронного урядування шляхом побудови та реалізації відповідного захищеного консолідованого інформаційного ресурсу. У роботі окреслено проблеми захисту інформації у процесах електронного урядування як на адміністративному, програмному, так і процедурному рівнях. Доведено ефективність їх розв'язку шляхом створення відповідного захищеного консолідованого інформаційного ресурсу. Визначено етапи розроблення такого ресурсу та описано основні сутності його бази даних, які мають бути враховані. Даний консолідований інформаційний ресурс дозволить підвищити ефективність діяльності органів публічної влади, забезпечить зростання їх відкритості та прозорості, завдяки використанню цілісної консолідованої інформації для прийняття управлінських рішень. Результатами статті є спроектований захищений консолідований інформаційний ресурс засобів електронного урядування, використання якого дозволяє підвищити ефективність діяльності органів публічної влади, завдяки отриманню якісної консолідованої інформації для прийняття дієвих управлінських рішень.

Ключові слова: захищений консолідований інформаційний ресурс, електронне урядування, консолідована інформація.

A. AZAROVA, L. LIAKHOVYCH

Vinnitsia National Technical University

DEVELOPMENT OF SECURED CONSOLIDATED INFORMATION RESOURCE OF E-GOVERNANCE MEANS

For a given hour, as a result of the foreign news, one of the most important officials is ensuring the success of reforming and advancing the competitiveness of the country & the development of electronic regulation. Achieving the necessary level of efficiency and effectiveness in public management for modern minds is not a pity without a wide range of modern information and communication technologies. And yet such efficiency is associated with the low threat of information security, and the need for access to the technical information source, as it is functional and integrated in the information systems, administrative systems and telecommunications

Today's nutritional problems in the field of information management in the processes of public administration will require the development of both on the terrains of Ukraine, as well as in the context of this narrow-mindedness with the information space of the society. The transfer of their efficiency by the bodies of electronic regulation from the digital mill to the new channels in connection with the fashion of the cyberthreats, in the protest of the generation of permanent mutations of cyberthreats and the appearance of new problems, and, moreover, to the need for the new energy supply system.

Such systems operate on the basis of IC, which are motivated by the principles of corporate computer fences, and that the decrease in the number of problems characteristic of corporate structures is increased. The stench is infused with yak on faxes at the direct technical service in the field of electronic equipment, as well as in the information services.

The purpose of the article is to optimize the processes of information flow processing and information security of e-government by building and implementing an appropriate secure consolidated information resource. The paper outlines the problems of information protection in e-government processes at the administrative, program and procedural levels. The effectiveness of their solution by creating an appropriate secure consolidated information resource has been proven. The stages of development of such a resource are defined and the main essences of its database are described, which should be taken into account. This consolidated information resource will increase the efficiency of public authorities, increase their openness and transparency, through the use of holistic consolidated information for management decisions. The results of the article are: designed protected consolidated information resource of e-government tools, its use allows to increase the efficiency of public authorities, by obtaining high-quality consolidated information for effective management decisions.

Keywords: secure consolidated information resource, e-governance, consolidated information.

Вступ. На даний час, як свідчить зарубіжний досвід, одним із важливих чинників забезпечення успішності реформування та підвищення конкурентоспроможності країни є розвиток електронного урядування. Досягнення необхідного рівня ефективності та результативності в галузі публічного управління за сучасних умов неможливе без широкого використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Але така діяльність пов'язана з низкою загроз інформаційній безпеці та потребує вжиття заходів з технічного захисту інформації, яка функціонує та обробляється в інформаційних, інформаційно-телекомунікаційних системах органів публічної влади на адміністративному, програмному та процедурному рівнях.

Проблемні питання сьогодення у сфері захисту інформації у процесах публічного управління потребують розв'язання як на теренах України, так і в контексті його узгодження з інформаційним простором світової спільноти. Переведення своєї діяльності органами електронного урядування у цифровий стан створює нові канали взаємодії з користувачами, проте породжує постійні мутації кіберзагроз і появу нових ризиків, а, отже, і потребу вирішення нових питань у системі ефективного публічного адміністрування, а отже, і електронного урядування.

Такі системи працюють на основі ІС, що побудовані за принципами корпоративних комп'ютерних мереж, що і зумовлює спадковість проблем, характерних для корпоративних структур. Вони впливають як на фахівців у напрямку технічного обслуговування у сфері електронного урядування, так і відповідних служб інформаційної безпеки.

Основними базовими аспектами, що спричиняють виникнення таких проблем [3] є: складність і різномірність програмного та апаратного забезпечення, що використовується в системах електронного врядування, що послуговуються різними ОС; велика кількість вузлів у мережах, що забезпечують процеси електронного врядування, що унеможлиблює своєчасний контроль технічним персоналом діяльності і безпеки користувачів; зовнішній доступ до системи електронного врядування є надзвичайно важливою проблемою, що виникає під час її експлуатації, оскільки підключення зовнішніх користувачів (підприємств, організацій, окремих громадян) до відкритих сервісів та надання прав персоналу органу публічного управління щодо віддаленої роботи з внутрішніми інформаційними ресурсами призводить до збільшення загальної кількості небезпек, що постійно з'являються у корпоративній мережі; функціонування груп технічного обслуговування та інформаційної безпеки, що спричиняє проблему чіткого розмежування функціональних обов'язків персоналу цих двох груп та ін.

Використання інструментів електронного урядування зумовлює появу значної кількості інформації та даних, які здебільшого різняться за форматом, сферою діяльності, джерелами та системами, використаними засобами електронного урядування тощо. Оскільки, зазначена інформація є важливою для діяльності органів публічної влади щодо успішного вироблення та прийняття на її основі відповідних рішень, то постає проблема в її консолідації, а у зв'язку з тим, що дана інформація може мати вплив на функціонування держави в цілому, то виникає ще одна проблема – потреба захисту даної інформації. Таким чином, під час створення та використання системи електронного врядування необхідним є комплексне вирішення складних проблем щодо її технічного обслуговування та інформаційної безпеки шляхом розроблення відповідного захищеного консолідованого інформаційного ресурсу.

Враховуючи те, що консолідована інформація – це одержані з кількох джерел та системно інтегровані різномірні інформаційні ресурси (знання), які в сукупності наділені ознаками повноти, цілісності, несуперечності та складають адекватну інформаційну модель проблемної області з метою її опрацювання та ефективного використання у процесах підтримки прийняття рішень, то процес консолідації полягає саме в об'єднанні, інтеграції різномірної інформації. Це вимагає розроблення механізму захисту під час створення консолідованого інформаційного ресурсу засобів електронного урядування на основі бази даних різних інформаційних ресурсів засобів електронного врядування, яка буде зберігати та обробляти інформацію з даних ресурсів.

Отже, **метою статті** є оптимізація процесів оброблення інформаційних потоків та забезпечення інформаційної безпеки засобів електронного врядування шляхом побудови та реалізації відповідного захищеного консолідованого інформаційного ресурсу, що уможливило продуктивні та захищені: реєстрацію, зберігання, використання та створення звітної інформації. Такий підхід дозволяє поглиблене вивчення засобів електронного урядування та покращення їх функціонування, оскільки є інструментом для аналізу даних і прийняття раціональних аналітичних, управлінських рішень органами публічної влади України.

Оскільки інформаційна база засобів електронного врядування є достатньо розгалуженою та, разом із тим, слабко впорядкованою, то для змістовного розуміння механізмів управління даними засобами, а, отже, і підвищення ефективності діяльності органів публічної влади, які застосовують такі засоби, необхідно чітко розуміти, що потрібно для розвитку даної сфери та враховувати усі чинники впливу. Таким чином, актуальним є створення захищеного консолідованого інформаційного ресурсу засобів електронного врядування, який би уможливив суттєве покращення такого процесу в різних аспектах.

Запропонований захищений консолідований інформаційний ресурс є єдиним, який поєднує у собі всі засоби електронного врядування України. Це дозволяє формувати деталізовані звіти та оптимізувати роботу органів публічної влади на базі інформації, представленої у звітах захищеного консолідованого інформаційного ресурсу. У свою чергу, такі дані дозволять збільшити пропускну здатність системи електронного врядування завдяки автоматизації процесів її роботи та прискорити прийняття раціональних управлінських рішень органами публічного врядування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для розроблення захищеного консолідованого інформаційного ресурсу було обрано систему управління базами даних (СУБД) MS SQL, оскільки вона є зручною реляційною СУБД для створення інформаційної системи. До переваг MS SQL належать: простота у використанні, універсальність, висока швидкість виконання запитів, можливість безкоштовного використання та ефективна система безпеки [1].

Консолідація даних – це багатоетапна складна процедура і найважливіша складова аналітичного процесу, що забезпечує високий рівень аналітичних рішень. Аналітична діяльність щодо консолідованої інформації – це процедури та процеси інтелектуальної діяльності, які генерують нову інформацію, дозволяють виявити нові проблеми чи їх аспекти, запропонувати нетрадиційні способи їх вирішення. Необхідним є врахування ризиків порушення захисту інформації, постійний систематичний аналіз проблемних ситуацій із метою виявлення тенденцій, які потребують негайної реакції управлінців та прийняття рішень [2, 3].

До основних етапів створення захищеного консолідованого інформаційного ресурсу належать:

- проектування ER-моделі консолідованого інформаційного ресурсу (KIP);
- побудова бази даних (БД);
- нормалізація БД;
- розроблення інтерфейсу KIP;

– захист інформації у БД створеного КІР;
– застосування створеного захищеного консолідованого інформаційного ресурсу для аналізу діяльності з функціонування засобів електронного урядування.

Розглянемо кожен етап окремо.

Етап 1. Проектування ER-моделі консолідованого інформаційного ресурсу. Для створення бази даних необхідно враховувати всі особливості обраної галузі. Для побудови бази даних спроектуємо для неї ER-модель за принципом «сутність – зв'язок».

Модель «сутність – зв'язок» являє собою набір концепцій, які використовуються для опису логічної структури бази даних.

Базис понять семантичного моделювання в загальному включає: визначення реалізованого об'єкта; визначення об'єкта-типу; визначення зв'язку між об'єктами; визначення властивості об'єкта; визначення ідентифікує властивості об'єкта.

Для моделі «сутність – зв'язок» базовими є поняття: сутність; зв'язок; атрибут.

Модель «сутність – зв'язок» заснована на діаграмній техніці. Для представлення різних аспектів структури даних (об'єктів, властивостей об'єктів, зв'язків між об'єктами, властивостей зв'язків та ін.) використовуються графічні засоби. Будь-який фрагмент предметної області може бути представлено як безліч сутностей, між якими існує деяка множина зв'язків.

Сутність – це клас однотипних об'єктів, інформація про які повинна бути врахована в моделі. Кожна сутність повинна мати найменування, виражене іменником в однині.

Атрибут сутності – це іменована характеристика, що є деякою властивістю сутності. Найменування атрибута повинно бути виражено іменником в однині (можливо характеризувати й прикметниками).

Ключ сутності – це ненадлишковий набір атрибутів, значення яких у сукупності є унікальними для кожного екземпляра сутності. Не надмірність полягає в тому, що видаленням будь-якого атрибута з ключа порушується його унікальність.

Зв'язок – це деяка асоціація між двома сутностями. Одна сутність може бути пов'язана з іншою сутністю або сама із собою. Зв'язки дозволяють по одній сутності знаходити інші, пов'язані з нею [4–7].

Отже, автори статті пропонують таку ER-модель консолідованого інформаційного ресурсу, що запропоновано на рис. 1. У результаті проектування ER-моделі отримано ряд сутностей: Орган публічної влади, Відділи органу публічної влади, Керівник, Рішення, Публічні обговорення, Публічні голосування, Звернення, Запити, Публічні послуги, Громадянин. Зв'язки між сутностями: Орган публічної влади проводить Публічні обговорення, Орган публічної влади проводить Публічні голосування, Орган публічної влади має Керівника, Орган публічної влади містить Відділи органу публічної влади, Орган публічної влади виконує Звернення, Орган публічної влади виконує Запити, Орган публічної влади надає Публічні послуги, Керівник приймає Рішення, Керівник бере участь в Публічних обговореннях, Керівник бере участь в Публічних голосуваннях, Громадянин бере участь в Публічних обговореннях, Громадянин бере участь в Публічних голосуваннях, Громадянин подає Звернення, Громадянин подає Запити, Громадянин звертається за Публічними послугами.

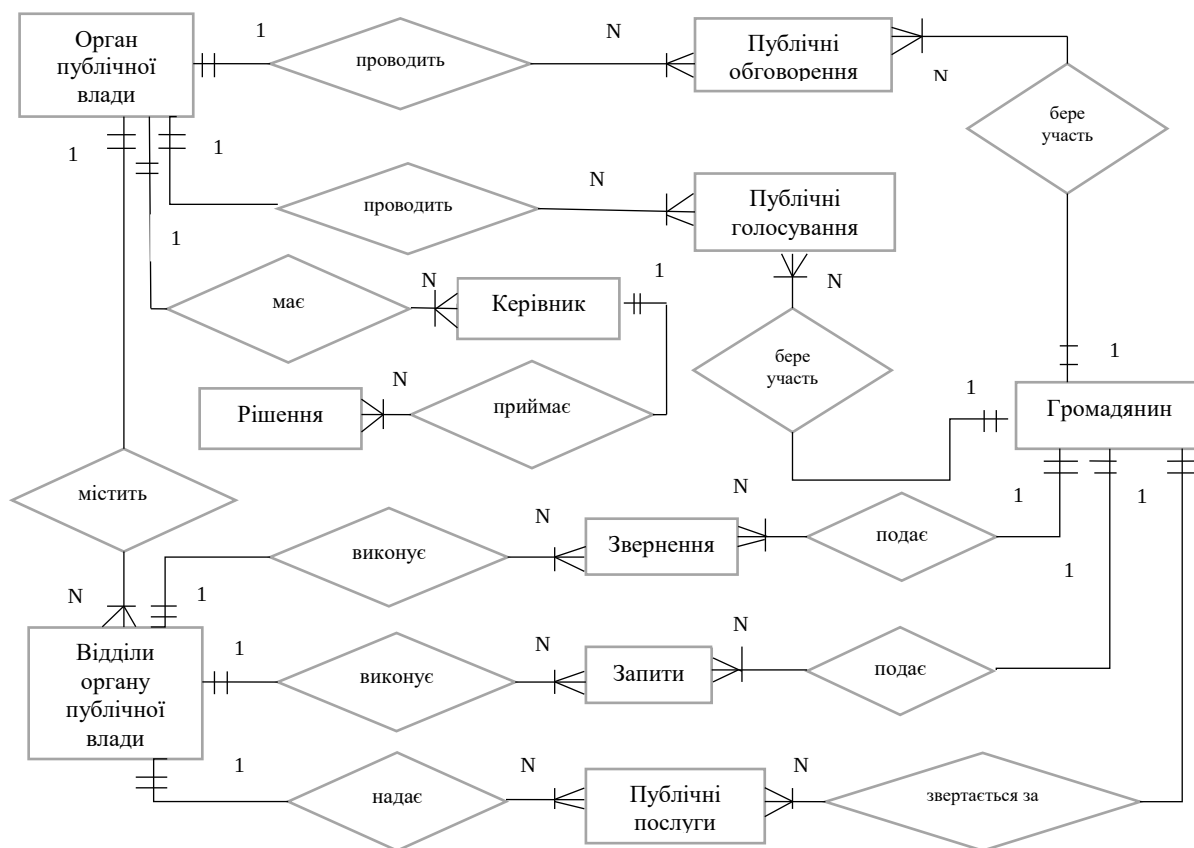


Рис. 1. ER-модель консолідованого інформаційного ресурсу

Сутності Орган публічної влади відповідають такі атрибути: Код Органу публічної влади, Назва Органу публічної влади, Тип Органу публічної влади, Адреса Органу публічної влади, Кількість Відділів органу публічної влади, Код Керівника Органу публічної влади.

Сутності Відділи органу публічної влади відповідають такі атрибути: Код Відділу органу публічної влади, Назва Відділу органу публічної влади, Адреса Відділу органу публічної влади, Кількість працівників Відділу органу публічної влади.

Сутності Керівник відповідають такі атрибути: Код Керівника, ПІБ Керівника, Посада керівника, Код Рішення Керівника.

Сутності Громадянин відповідають такі атрибути: Код Громадянина, ПІБ Громадянина, Адреса Громадянина, Телефон Громадянина, Соціальний стан Громадянина, Категорія Громадянина.

Сутності Публічні послуги відповідають такі атрибути: Код Публічної послуги, Назва Публічної послуги, Код Відділу органу публічної влади, Термін надання Публічної послуги, Документи.

Сутності Звернення відповідають такі атрибути: Код Звернення, Дата Звернення, Тип Звернення, Питання, Код Громадянина, Код Відділу органу публічної влади.

Сутності Запити відповідають такі атрибути: Код Запиту, Дата Запиту, Питання, Код Громадянина, Код Відділу органу публічної влади.

Сутності Публічні обговорення відповідають такі атрибути: Код Публічного обговорення, Дата Публічного обговорення, Тривалість Публічного обговорення, Питання, Код Органу публічної влади.

Сутності Публічні голосування відповідають такі атрибути: Код Публічного голосування, Дата Публічного голосування, Тривалість Публічного голосування, Питання, Код Органу публічної влади.

Сутності Рішення відповідають такі атрибути: Код Рішення, Назва Рішення, Тип Рішення, Код Органу публічної влади, Код Керівника Органу публічної влади.

Кожен атрибут сутності, який починається зі слова Код і містить у собі назву сутності, є ключовим атрибутом даної сутності.

Етап 2. Побудова бази даних. На основі всіх отриманих вище сутностей та їх атрибутів, а також всіх зв'язків між сутностями ER-моделі здійснимо проектування таблиць бази даних захищеного консолідованого інформаційного ресурсу, де атрибути будуть слугувати таблицями бази даних. Після створення таблиць їх потрібно заповнити даними. Даними для цих таблиць є атрибути сутностей кожної відповідної таблиці. Наведемо приклад: у нас є сутність Орган публічної влади, яка містить атрибути: Код Органу публічної влади, Назва Органу публічної влади, Тип Органу публічної влади, Адреса Органу публічної влади, Кількість Відділів органу публічної влади, Код Керівника Органу публічної влади. Відповідно до цього таблиця «Орган публічної влади» повинна містити такі ж поля, з відповідними значеннями та типами даних, як вказано на рис. 2. Аналогічно побудуємо усі інші таблиці.

id_public_authority	name_public_authority	type_public_authority	adress_public_authority	number_departments	id_manager
1	Вінницька обласна державна адміністрація	MOBB	м. Вінниця	17	125
2	Вінницька обласна Рада	OMC	м. Вінниця	8	14
3	Вінницька міська рада	OMC	м. Вінниця	35	18
4	Вінницька об'єднана міська територіальна громада	OMC	м. Вінниця	38	47
5	Іллінецька ОТГ	OMC	м. Іллінець	14	25
6	Немирівська ОТГ	OMC	м. Немирів	12	36
7	Літинська райдержадміністрація	MOBB	сел. Літин	10	89
8	Тиврівська райдержадміністрація	MOBB	сел. Тиврів	14	124

Рис. 2. Вигляд таблиці Орган публічної влади

Наступним кроком у реалізації бази даних засобів електронного врядування є встановлення зв'язків між таблицями даних відповідно до їх первинних та вторинних ключів за допомогою UML діаграми класів, як вказано на рис. 3.

Етап 3. Нормалізація БД. Нормалізація відношень – це покроковий процес розділення початкових відношень БД на простіші. Кроки цього процесу перетворюють схему відношення БД на послідовні нормальні форми. Кожна наступна форма володіє кращими властивостями ніж попередня [8]. У результаті проведення нормалізації отримаємо такі відношення:

- R4(< Код Органу публічної влади> Назва, Тип, Адреса, Кількість відділів, Код Керівника);
- R5 (< Код Відділи> Назва, Адреса, Кількість працівників);
- R6 (< Код Керівника> П.І.Б., Посада, Рішення);
- R7 (< Код Громадянина> П.І.Б., Адреса, Телефон, Соціальний стан, Категорія);
- R8 (< Код Публічної послуги> Назва, Термін надання, Документи);
- R9 (< Код Звернення> Дата, Тип, Питання);
- R10 (< Код Запиту> Дата, Питання);
- R11 (<Код Публічного обговорення> Дата, Тривалість, Питання);
- R12 (< Код Публічного голосування> Дата, Тривалість, Питання);
- R13 (< Код Рішення> Назва, Тип).

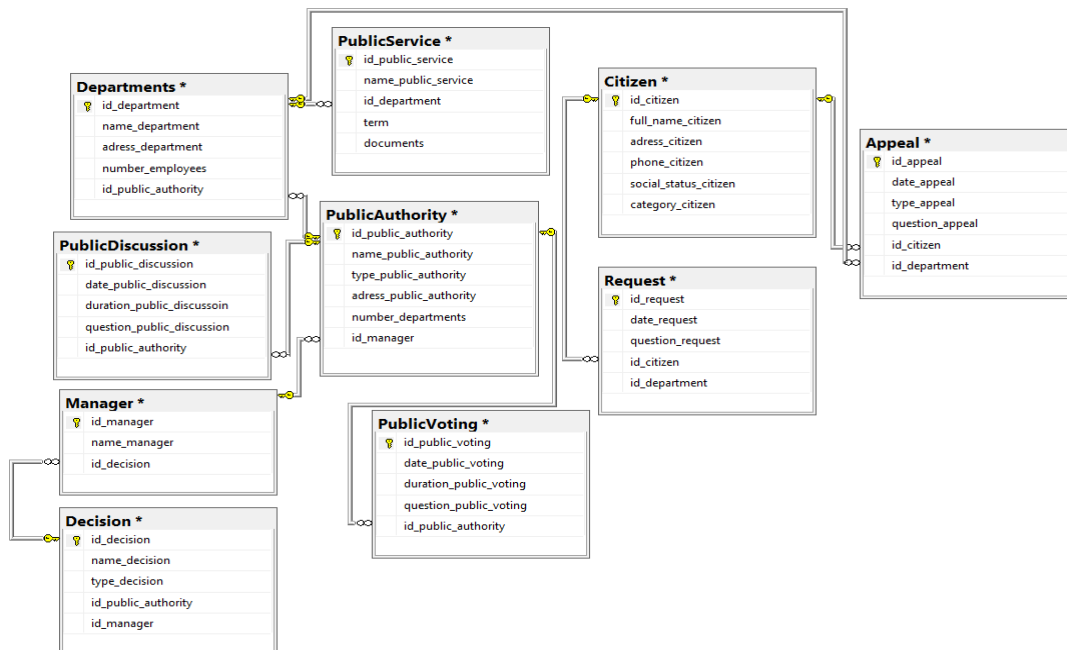


Рис. 3. UML діаграма класів

Етап 4. Розроблення управлінського інтерфейсу ЗКІР. Для зручного керування захищеним консолідованим інформаційним ресурсом потрібно створити управлінський інтерфейс, який враховуватиме всі особливості захищеного консолідованого інформаційного ресурсу засобів електронного врядування України. Потрібно створити відповідний веб-додаток, який буде містити всю інформацію про органи публічної влади, їх структуру, публічні послуги, які вони надають, звернення та запити, які ними розглядаються, публічні обговорення та публічні голосування, а також відповідні форми для адміністрування системи [9–14]. Форму додавання нового користувача представлено на рис. 4.

ДОДАВАННЯ. КОРИСТУВАЧІ	
ПАРАМЕТРИ	
Логін	USER
Пароль	*****
Підтвердження	*****
ПІБ	Іванов Іван Іванович
Дата народження	01.01.1984
Підрозділ	Департамент освіти і науки
Телефон	+380432651736
Мобільний телефон	
E-mail	ivanov@test.com
ДОДАТИ	

Рис. 4. Форма додавання нового користувача

Етап 5. Захист інформації у БД створеного КІР. Захист інформації у базі даних створеного консолідованого ресурсу відбувається за рахунок застосування MS SQL, що є сервером високого класу, який забезпечує управління розробленою БД, її безпеку і стабільність роботи та гарантує найвищий рівень захисту даних. Крім того, для захисту особистих даних користувача використовується SSL сертифікат – криптографічний протокол, що встановлює безпечне з'єднання клієнта і сервера [15]. Протокол створює конфіденційний обмін даними між клієнтом і сервером, що використовують протокол TCP/IP, а для шифрування авторами роботи використовується асиметричний алгоритм з відкритим ключем.

Етап 6. Застосування створеного ЗКІР засобів електронного урядування. Розглянемо роботу створеного ЗКІР щодо надання ним звітів за певними запитамі. Звіти будуть створюватися на базі кількох таблиць або запитів. Основною задачею звітів є наочне зображення зібраної статистичної інформації в доступному графічному вигляді або у текстовому представленні основної інформації. Це робиться для того, щоб працівники чи керівництво на основі представлених даних могли формувати свої звіти швидше та детальніше. Звіт ефективності керівництва щодо роботи зі зверненнями громадян наведено на рис. 5.

Дані про ефективність керівництва

з по

ПІБ	Всього	Вирішено позитивно	Роз'яснено	Відмов.	Повернуто по ст. 5 і 7	Переслано згідно ст. 7	Не розглядається	На контролі
Іванов І.І.	101	0	12	0	0	0	0	0
Петров П.П.	5161	0	586	0	0	0	2	0
Сидоров С.С.	286	0	55	0	0	0	1	0
Васильєв В.В.	6003	1	916	0	0	0	7	0
Семенів С.С.	33	0	5	0	0	0	0	0
Павлов П.П.	61	0	7	0	0	0	0	0
Всього:	11645	1	1581	0	0	0	10	0

Рис. 5. Звіт ефективності керівництва щодо роботи зі зверненнями громадян

Висновки та перспективи подальших досліджень. У статті розроблено захищений консолідований інформаційний ресурс засобів електронного врядування України. Основною перевагою захищеного консолідованого інформаційного ресурсу перед іншими системами є те, що він містить у собі всю необхідну та об'єктивну інформацію, що дозволяє швидко та якісно вирішувати поставлені перед керівництвом органів публічної влади завдання. Перспективність застосування створеного захищеного консолідованого ресурсу засобів електронного врядування є безперечною, оскільки дозволить підвищити ефективність діяльності органів публічної влади, забезпечить зростання їх відкритості та прозорості завдяки використанню цілісної консолідованої інформації для прийняття управлінських рішень.

Література

1. Азарова А.О. Шляхи створення інституційних засад муніципального управління засобами публічного врядування на основі соціальної рефлексії / А.О. Азарова, Л.М. Ткачук, О.М. Хошаба // Державне будівництво. – 2019. – № 1. – С. 1–11.
2. Азарова А.О. Шляхи удосконалення публічного управління регіональним розвитком на основі сучасних ІТ-технологій / А.О. Азарова, Л.М. Ткачук, Л.О. Нікіфорова, А.А. Шиян, О.М. Хошаба, І.С. Каплун // Інвестиції: практика та досвід. – 2019. – № 10. – С. 88–98.
3. Азарова А.О. Публічне управління та адміністрування в контексті захисту його інформаційного простору / А.О. Азарова, Л.М. Ткачук, Л.О. Нікіфорова, А.А. Шиян, О.М. Хошаба // Вісник Житомирського державного технічного університету. – 2019. – № 2 (88). – С. 149–155.
4. Нікіфорова Л.О. Управління стратифікацією суспільства засобами електронної демократії / Л.О. Нікіфорова, А.О. Азарова, Л.М. Ткачук, А.А. Шиян, О.М. Хошаба // Публічне управління і адміністрування в Україні. – 2019. – № 11. – С. 122–126.
5. Азарова А.О. Моделювання взаємодії суспільства та влади в контексті електронної демократії та публічного управління і адміністрування / А.О. Азарова, А.А. Шиян, Л.О. Нікіфорова, Л.М. Ткачук // Університетські наукові записки. – 2019. – № 1–2 (69–70). – С. 156–166.
6. Shyian A. The modeling of communication between the society and authorities during the social projects implementing in the context of e-democracy and public administration / Anatolii A. Shyian, Anzhelika O. Azarova, Liliia O. Nikiforova, M. Luydmila Tkachuk // Економічні горизонти. – 2019. – № 1(8). – С. 89–98.
7. Автоматизация процессов публичного управления и администрирования на основе СППР / А.А. Азарова, Л.М. Ткачук, И.С. Каплун, В.М. Тямушева // Вопросы современной науки : коллект. науч. монография / под ред. А.А. Еникеева. – Москва : Изд. «Интернаука», 2019. – Т. 39. – С. 82–97.
8. Публічне управління та адміністрування : навч. посібник / [Азарова А.О., Ткачук Л.М., Шиян А.А., Нікіфорова Л.О., Хошаба О.М., Міронова Ю.В., Небава М.І.]. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 181 с.
9. Азарова А.О. Особливості застосування електронного урядування при створенні КІР спортивної діяльності [Електронний ресурс] / А.О. Азарова, Л.М. Ткачук, В.Д. Хомяк // Тези XLVIII науково-технічної конференції ВНТУ. – 2019. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fm/all-fm-2019/paper/view/7965> – (Дата звернення : 15.04.2020).
10. Азарова А.О. Публічне управління процесами розподіленого доступу в галузі телемедицини засобами СУБД [Електронний ресурс] / А.О. Азарова, В.О. Вальчук // Тези XLVIII науково-технічної конференції ВНТУ. – 2019. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fm/all-fm-2019/paper/view/7982> – (Дата звернення : 15.04.2020).
11. Азарова А.О. Захист конфіденційної інформації у процесах публічного адміністрування на основі біометричної ідентифікації фізіологічних особливостей людини [Електронний ресурс] / А.О. Азарова, Л.М. Ткачук, В.О. Гудзь, В.О. Блонський // Тези Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи». – 2019. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/view/8108/6754> – (Дата звернення : 15.04.2020).

12. Азарова А.О. Формування ефективної політики інформаційної безпеки у процесах публічного управління [Електронний ресурс] / А.О. Азарова, Л.М. Ткачук, В.Ф. Хісмаутулліна // Тези Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи». – 2019. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/viewFile/8066/6737> – (Дата звернення : 15.04.2020).

13. Азарова А.О. Інформаційне забезпечення електронного врядування [Електронний ресурс] / А.О. Азарова, В.Д. Хомяк, О.А. Стахова, О.М. Хошаба // Тези Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи». – 2019. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/viewFile/8111/6757> – (Дата звернення : 15.04.2020).

14. Азарова А.О. Публічне адміністрування як процес прийняття управлінських рішень [Електронний ресурс] / А.О. Азарова, Т.С. Костюк, О.А. Стахова, О.М. Хошаба // Тези Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи». – 2019. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/view/8116/6760> – (Дата звернення : 15.04.2020).

15. Азарова А.О. Здійснення захисту інформації у процесах публічного управління за допомогою пристрою пошуку радіозакладних пристроїв [Електронний ресурс] / А.О. Азарова, Л.М. Ткачук, В.О. Гудзь, В.О. Блонський, О.М. Хошаба // Тези Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи». – 2019. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/view/8160/6790> – (Дата звернення : 15.04.2020).

References

1. Azarova A.O. Shliakhy stvorennia instytutsiinykh zasad munitsypalnogo upravlinnia zasobamy publichnogo vriaduvannia na osnovi sotsialnoi refleksii / A.O. Azarova, L.M. Tkachuk, O.M. Khoshaba // Derzhavne budivnytstvo. – 2019. – № 1. – С. 1–11.
2. Azarova A.O. Shliakhy udoskonalennia publichnogo upravlinnia rehionalnym rozvytkom na osnovi suchasnykh IT-tekhnohologii / A.O. Azarova, L.M. Tkachuk, L.O. Nikiforova, A.A. Shyian, O.M. Khoshaba, I.S. Kaplun // Investytsii: praktyka ta dosvid. – 2019. – № 10. – С. 88–98.
3. Azarova A.O. Publichne upravlinnia ta administruvannia v konteksti zakhystu yoho informatsiynoho prostoru / A.O. Azarova, L.M. Tkachuk, L.O. Nikiforova, A.A. Shyian, O.M. Khoshaba // Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu. – 2019. – № 2 (88). – С. 149–155.
4. Nikiforova L.O. Upravlinnia stratyfikatsiiei suspilstva zasobamy elektronnoi demokratii / L.O. Nikiforova, A.O. Azarova, L.M. Tkachuk, A.A. Shyian, O.M. Khoshaba // Publichne upravlinnia i administruvannia v Ukraini. – 2019. – № 11. – С. 122–126.
5. Azarova A.O. Modeliuvannia vzaemodii suspilstva ta vlady v konteksti elektronnoi demokratii ta publichnogo upravlinnia i administruvannia / A.O. Azarova, A.A. Shyian, L.O. Nikiforova, L.M. Tkachuk // Universytetski naukovy zapysky. – 2019. – № 1–2 (69–70). – С. 156–166.
6. Shyian A. The modeling of communication between the society and authorities during the social projects implementing in the context of e-democracy and public administration / Anatolii A. Shyian, Anzhelika O. Azarova, Liliia O. Nikiforova, M. Luydmila Tkachuk // Ekonomichni horyzonty. – 2019. – № 1(8). – С. 89–98.
7. Avtomatyzatsiya protsessov publichnogo upravleniya y admynistroyvanyia na osnove SPPR / A.A. Azarova, L.M. Tkachuk, Y.S. Kaplun, V.M. Tiamusheva // Voprosy sovremennoi nauky : kolekt. nauch. monohrafiya / pod red. A.A. Enykeeva. – Moskva : Yzd. «Ynternauka», 2019. – Т. 39. – С. 82–97.
8. Publichne upravlinnia ta administruvannia : navch. posibnyk / [Azarova A.O., Tkachuk L.M., Shyian A.A., Nikiforova L.O., Khoshaba O.M., Mironova Yu.V., Nebava M.I.]. – Vinnytsia : VNTU, 2019. – 181 s.
9. Azarova A.O. Osoblyvosti zastosuvannia elektronnoho uriaduvannia pry stvorenni KIR sportyvnoi diialnosti [Elektronnyi resurs] / A.O. Azarova, L.M. Tkachuk, V.D. Khomiak // Tezy XLVIII naukovo-tekhnichnoi konferentsii VNTU. – 2019. – Rezhym dostupu : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fm/all-fm-2019/paper/view/7965> – (Дата звернення : 15.04.2020).
10. Azarova A.O. Publichne upravlinnia protsesamy rozpodilenoho dostupu v haluzi teledytsyny zasobamy SUBD [Elektronnyi resurs] / A.O. Azarova, V.O. Valchuk // Tezy XLVIII naukovo-tekhnichnoi konferentsii VNTU. – 2019. – Rezhym dostupu : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fm/all-fm-2019/paper/view/7982> – (Дата звернення : 15.04.2020).
11. Azarova A.O. Zakhyst konfidentsiinoi informatsii u protsesakh publichnogo administruvannia na osnovi biometrychnoi identyfikatsii fiziologichnykh osoblyvostei liudyny [Elektronnyi resurs] / A.O. Azarova, L.M. Tkachuk, V.O. Hudz, V.O. Blonskyi // Tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv «Molod v nauks: doslidzhennia, problemy, perspektyvy». – 2019. – Rezhym dostupu : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/view/8108/6754> – (Дата звернення : 15.04.2020).
12. Azarova A.O. Formuvannia efektyvnoi polityky informatsiinoi bezpeky u protsesakh publichnogo upravlinnia [Elektronnyi resurs] / A.O. Azarova, L.M. Tkachuk, V.F. Khismatullina // Tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv «Molod v nauks: doslidzhennia, problemy, perspektyvy». – 2019. – Rezhym dostupu : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/viewFile/8066/6737> – (Дата звернення : 15.04.2020).
13. Azarova A.O. Informatsiine zabezpechennia elektronnoho vriaduvannia [Elektronnyi resurs] / A.O. Azarova, V.D. Khomiak, O.A. Stakhova, O.M. Khoshaba // Tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv «Molod v nauks: doslidzhennia, problemy, perspektyvy». – 2019. – Rezhym dostupu : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/viewFile/8111/6757> – (Дата звернення : 15.04.2020).
14. Azarova A.O. Publichne administruvannia yak protses pryiniattia upravlinskykh rishen [Elektronnyi resurs] / A.O. Azarova, T.S. Kostyuk, O.A. Stakhova, O.M. Khoshaba // Tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv «Molod v nauks: doslidzhennia, problemy, perspektyvy». – 2019. – Rezhym dostupu : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/view/8116/6760> – (Дата звернення : 15.04.2020).
15. Azarova A.O. Zdiisnennia zakhystu informatsii u protsesakh publichnogo upravlinnia za dopomohoiu prystroiu poshuku radiozakladnykh prystroiv [Elektronnyi resurs] / A.O. Azarova, L.M. Tkachuk, V.O. Hudz, V.O. Blonskyi, O.M. Khoshaba // Tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv «Molod v nauks: doslidzhennia, problemy, perspektyvy». – 2019. – Rezhym dostupu : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/view/8160/6790> – (Дата звернення : 15.04.2020).

УДК 004.738.5

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-13

С. П. ЗЕМБИЦЬКИЙ, Н. В. ГРИПИНСЬКА

Хмельницький національний університет

ПРОЕКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ХМАРНОГО ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ОБРОБКИ АНАМНЕЗУ ПАЦІЄНТІВ ІЗ ЗАХВОРЮВАННЯМ ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

У статті представлено проектування архітектури хмарного середовища для обробки анамнезу захворювання дихальної системи та подальшого прогнозування діагнозу. Під час проведення наукової роботи було опрацьовано попередні публікації та наукові дослідження в галузі сімейної медицини. Проаналізувавши попередні дослідження було сформовано основне невирішене питання, яке полягає в розробці архітектури обробки епізоду звернення пацієнта з використанням методів машинного навчання та з подальшим розгортанням на серверах - хостерах з використанням хмарної обчислювальної технології. Також було сформовано основні цілі проведення даного наукового дослідження. Розглянуто основні характеристики для побудови архітектури та обрано їх оптимальні значення. Обґрунтовано доцільність використання технології передачі даних AJAX. Також було обґрунтовано доцільність використання баз знань формату csv та структурованого об'єкту JSON. Розглянуто алгоритми класифікації з машинним навчанням та обрано оптимальний алгоритм класифікації. Результатом дослідження є розроблена архітектура, в вигляді блок – схеми, функціонування хмарного обчислювального середовища.

Ключові слова: алгоритми класифікації, машинне навчання, обробка анамнезу

S. ZEMBITSKYI, N. HRYPYNKA

Khmelnytskyi National University

CREATING OF ARCHITECTURE OF CLOUD COMPUTING ENVIRONMENT FOR ANALYZING ANAMNESIS OF PATIENTS WITH RESPIRATORY SYSTEM DISEASE ON BASE MACHINE LEARNING

Algorithms of machine learning are widely used in small galuzu, did not omit medical practice. The machine of modernization in the medical field has known the storage in different directions, such as the processing of biomedical images, the analysis of computer tomography, the analysis of electrocardiograms, the development of licenses, the pathology, the detection. Algorithms of machine learning are also used for the administration of the plant, as it is not necessary for the practical practice, but for the medical galusa. For example, private clientele vikoristovuyut systems and piece neural framing for the establishment and processing of routing of patients in the clinic, keruvannya chergami in the clinic, the establishment of interactive knowledge bases for detailed information to the medical staff. But it's a pity in the family of medicine, for the present moment, it is not possible to see in the implementation of algorithms of machine technology. In the out-of-town medical practice of testing systems of piece neural fences, to optimize the working process of the family doctor, to change the vitrate for an hour at the time of the patient's reception, and to set up the backward pattern of anamnesis of the patient's anamnesis. Therefore, the main task of this scientific advancement is to develop the architecture of a gloomy numerical center for reviewing the anamnesis of patients with mental illness on the basis of machine learning algorithms, so that we can give the values of the robotic field of recognition.

This work present process of developing architecture cloud processing environment for analyzing anamnesis of patients with respiratory system disease. During doing this scientific work was processed previous publications and scientific experiments in family medicine direction. Having analyzed previous experiments was created main problem this scientific work. Main problem is creating of architecture processing episode patient treatment with using machine learning and future integration on servers – hosters with cloud processing technologies. Also was created main targets this scientific work. Reviewed main features for creating of architecture and was selected them optimal correct values. Justified expediency using technologie of transmit data such as AJAX. Also was justified expediency using knowledge database that using csv format and using structured object such as JSON. Reviewed machine learning algorithms of classifications and was selected optimal algorithm. Result this experiment is created architecture in view block – schema, function cloud processing environment.

Keywords: algorithm classification, anamnesis processing, machine learning

Постановка задачі. Алгоритми машинного навчання широко використовуються в різних галузях, не минуло це і медичну практику. Машинне навчання в медичній галузі знайшло застосування в різних напрямках, таких як обробка біомедичних зображень, аналіз комп'ютерної томографії, аналіз електрокардіограми, розробка ліків, радіологія, виявлення патологій. Також алгоритми машинного навчання застосовуються для виконання завдань, які не стосуються лікувальної практики, але відносяться до медичної галузі. Наприклад, приватні клініки використовують системи штучних нейронних мереж для створення та обробки маршрутизації пацієнтів в клініці, керування чергами в клініці, створення інтерактивних баз знань для вдосконалення досвіду медичного персоналу. Але на жаль в сімейній медицині на даний момент не відбувається впровадження алгоритмів машинного навчання. В загальній медичній практиці використання систем штучних нейронних мереж створить оптимізацію робочого процесу сімейного лікаря, зменшить витрату часу на прийом пацієнта та обробку його анамнезу захворювання, встановить загальний шаблон алгоритму та порядок дій проведення прийому пацієнта та обробки анамнезу. Тому основною задачею даного наукового дослідження являється розробка архітектури хмарного обчислювального середовища для обробки анамнезу пацієнтів з захворюванням дихальної системи на основі алгоритмів машинного навчання, що надасть значні полегшення в роботі сімейного лікаря.

Аналіз досліджень та публікацій. На даний момент наукова спільнота проводить дослідження та розробки в сфері діагностики респіраторних захворювань за допомогою алгоритмів машинного навчання. Одне із таких досліджень викладене в дисертації Поревої Ганни Сергіївни «Методи аналізу звуків легень

для оцінки стану дихальної системи людини». Дана дисертаційна робота присвячена актуальній темі обробки та аналізу звуків легень людини з метою отримання діагностично цінних параметрів для використання їх як в якості самостійних критеріїв оцінювання стану дихальної системи людини і як вхідних аргументів класифікаторів для автоматизації прийняття рішень щодо певних захворювань [1]. Проводиться розробка нових структур баз знань та модифікації алгоритмів машинного навчання [2]. Також проводиться розробка в області аналізу біомедичних зображень, а саме аналіз флюорографічних знімків легень та виявлення аномалій в знімках.

Виділення невирішених частин. Проаналізувавши існуючі наукові дослідження та публікації, можна зробити висновок, що основною невирішеною проблемою є відсутність реалізації алгоритмів машинного навчання для аналізу анамнезу пацієнта, розгорнутих в хмарному обчислювальному середовищі. Саме використання систем машинного навчання в хмарних технологіях надасть можливість кінцевому користувачу використовувати менш ресурсоємні пристрої за рахунок проведення всіх обчислень на стороні сервера та відправки опрацьованого пулу даних, клієнту. Також середовище хмарного обчислення допоможе в проектуванні кросплатформового застосунку, що збільшить кількість потенційних користувачів, за рахунок виконання додатка на web платформі, та зменшить витрати ресурсів на розробку кінцевого додатка.

Формулювання цілей. В ході проведення даного наукового дослідження було сформульовано наступні цілі:

- ознайомитися з типами хостингових серверів та визначити оптимальний тип та конфігурацію сервера;
- визначити тип web застосунку;
- визначити метод «спілкування» клієнта з сервером;
- визначити тип баз даних для збереження карт навчання та іншої інформації, яка забезпечує функціонування середовища;
- визначити алгоритм машинного навчання для обробки та прогнозування або класифікації діагнозу відповідно до відібраного анамнезу;
- розробити архітектуру функціонування хмарного обчислювального середовища.

Виклад основного матеріалу. Для реалізації хмарної архітектури першим основним кроком було визначення типу та конфігурації сервера хостингу. Існують наступні типи web хостингів:

- віртуальний хостинг (Shared hosting) розширений тип хостингу, який задовольняє більшість користувачів та власників невеликих сайтів. Плюсами даного типу сервера є простота в використанні та наявність універсальної панелі керування. Недоліками є відсутність доступу до сервера по SSH протоколу для встановлення розширень та налаштування сервера, невеликий об'єм виділеного місця, кількісне обмеження створення таблиць та баз даних, присутність «сусідів»;
- віртуальний виділений сервер (Virtual dedicated server) виділена частина сервера, яка містить для кожного клієнта окрему віртуальну машину. Використовується для середніх проєктів. Плюсами даного типу сервера є можливість встановлення потрібної операційної системи та програмного забезпечення для функціонування сервісу, конфігурування обчислювальних ресурсів та наявність доступу до сервера по SSH протоколу. Основним недоліком є присутність «сусідів»;
- виділений сервер (Dedicated server) окремий обчислювальний пристрій з окремим виділеним каналом зв'язку. Використовується для великих проєктів. Наявний повний контроль над програмною частиною сервера з повним доступом до всіх налаштувань сервера. Апаратну частину адмініструє хостинг-провайдер;
- колокейшн (Colocation) надання фізичного місця та виділеного каналу зв'язку в дата центрі хостинг – провайдера;
- хмарний сервер (Cloud hosting) віртуальний виділений сервер з гнучкою системою розподілення обчислювального ресурсу для виконання задач.

Таким чином для реалізації архітектури хмарного обчислення з використанням алгоритмів машинного навчання оптимальним варіантом сервера є віртуальний виділений сервер, виділений сервер або хмарний сервер.

Тип web застосунку – SPA (Single Page Application) односторінковий web додаток. Порівняно з звичайним багатосторінковим web додатком SPA оптимізований для зменшення використання інтернет трафіку за рахунок разового завантаження та кешування файлів ресурсів на пристрій кінцевого користувача, таким чином відбувається обмін лише інформацією для обробки між клієнтом та сервером в вигляді пулу даних. Також використовуючи дану технологію можна використовувати методику шаблонізації, що значно зменшить об'єм кінцевого web додатку.

Спілкування з сервером відбувається за методикою AJAX, що дозволить кінцевому користувачу працювати без примусового перезавантаження web сторінки при відправці та отриманні пулу даних. Також використання даної методики роботи з сервером зменшує використання інтернет трафіку та зменшує навантаження на сервер.

База знань організована у вигляді структурованих векторів клініки респіраторних захворювань та анамнезу пацієнтів. Об'єкт бази знань представлений в вигляді файлу з типом розширення “.csv”. Порівняно з звичайною базою даних MySQL організація структури бази знань в файлі з типом розширення “.csv” дає змогу системі алгоритму машинного навчання з мінімальною затримкою на вибірку інформації отримати повний зліпок бази знань для чергового перенавчання, побудови нової моделі навчання та створення

класифікації або прогнозу відповідно до нової моделі. Також використовуючи об'єкт файлу з типом розширення ".csv" для організації бази знань з легкістю можна вносити зміни в структуру самої бази знань не руйнуючи вже існуючу базу знань. Плани лікування та шифри ICPC2, МКХ – 10 потребують організації складної структури даних, тому для реалізації даної потреби було обрано формат JSON. Використовуючи даний формат можна сформувати складну модель збереження та представлення даних та інтерпретувати дані в об'єкти, що допоможе швидко та легко отримати доступ до об'єкту даних та отримати значення обраного об'єкту.

Для реалізації задачі класифікації було обрано наступні алгоритми машинного навчання: алгоритм наївного Баєса (далі АНБ), метод опорних векторів, метод К-ближніх сусідів. Алгоритм наївного Баєса – це ймовірнісний алгоритм класифікації в основі якого лежить теорема Баєса про наївні припущення незалежності змінних. Цей алгоритм є мультикласифікатором і здатний опрацьовувати великі об'єми даних. Основною вимогою даного алгоритму являється деталізована база знань, яка будується на основі статистичних вибірок, в деяких випадках ця вимога вважається недоліком через неможливість відбору великої статистичної вибірки. На відміну від алгоритму наївного Баєса метод опорних векторів є бінарним класифікатором. Задача класифікації методом опорних векторів полягає в відшукуванні гіперплощини в n -вимірному просторі для розділення об'єктів навчальної вибірки представлених в вигляді точок на два класи та побудові апроксимації вхідного вектору для відшукування приналежності до першого або другого класу. Через потребу мультикласифікації метод опорних векторів як самостійний окремий алгоритм використовувати неможливо тому для створення мультикласифікатора на основі даного методу використовується модель – надбудова «Один проти всіх» або «Один проти одного». Для методу опорних векторів наявність великої бази знань не обов'язкова, достатньо лише загальні характеристики для проведення класифікації. Метод К-ближніх сусідів – це метод класифікації, який використовує властивості евклідових відстаней для визначення приналежності до певного класу. Цей метод є бінарним і для багатокласової класифікації потрібно також використовувати модель надбудову «Один проти всіх» або «Один проти одного», що призводить до збільшення витрати обчислювального ресурсу та збільшення часу на обробку. Таким чином для проведення класифікації було обрано алгоритм наївного Баєса тому, що даний алгоритм є мультикласифікатором і відсутня необхідність реалізації моделі – надбудови. Також алгоритм використовує мало обчислювальних ресурсів для проведення класифікації та швидко відпрацьовує на великих об'ємах бази знань. Деталізація бази знань буде використовуватися для більш чіткої класифікації.

Проаналізувавши описані вимоги розроблено архітектуру функціонування хмарного обчислювального середовища для обробки анамнезу пацієнтів з захворюванням дихальної системи на основі алгоритму машинного навчання (рис. 1).

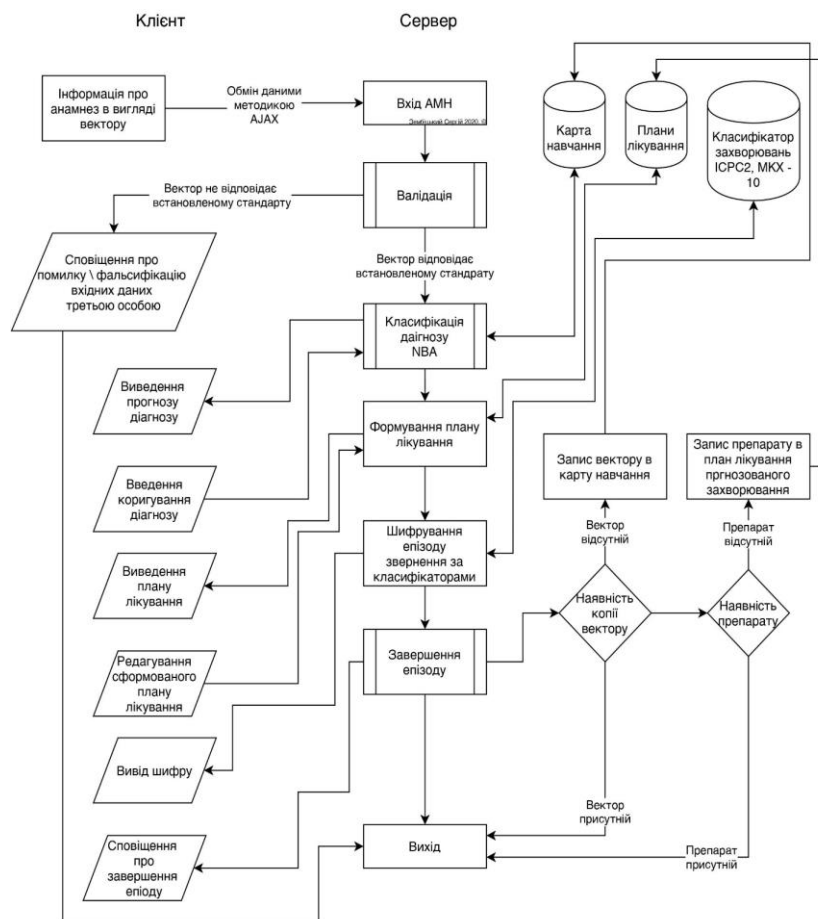


Рис. 1. Блок-схема архітектури хмарного обчислювального середовища

Середовище функціонує за наступним алгоритмом: після введення анамнезу пацієнта на web сторінці на вхід подається методом AJAX вектор анамнезу пацієнта. Вектор проходить валідацію, за невідповідності вектора до встановленої структури користувачу виводиться на екран сповіщення про помилку в системі або підбірку даних з боку третіх осіб і рекомендується перезавантажити сторінку, якщо вектор задовольняє всі умови та відповідає встановленій структурі він передається на вхід обчислювального ядра алгоритму наївного Баєса. На етапі класифікації ядро АНБ отримує актуальний зліпок бази знань з карти навчання, проводить класифікацію вхідного вектору, передає методом AJAX користувачу інтерпретований вихідний вектор, який містить в собі назву діагнозу відповідно до введенного анамнезу, та виводить його на екран. Задля збереження людського фактора в системі розроблена можливість змінювати діагноз якщо на думку користувача (сімейного лікаря) він не відповідає тому, що встановив АНБ. На етапі формування плану лікування пацієнта на вхід методом AJAX подається вектор діагнозу, ядро відповідальне за формування плану лікування звертається до JSON структурованого об'єкту, який містить плани лікування та формує план лікування згідно вказаних умов. Сформований план лікування передається користувачу методом AJAX, пулом даних та виводиться на екран. За потреби користувач може редагувати план лікування. Далі процес виконання передається в модуль шифрування епізоду звернення пацієнта. На даному етапі ядро модулю шифрування епізоду звертається до JSON структурованого об'єкту, який містить шифри ICPC2 та МКХ – 10 та за вхідним вектором кінцевого діагнозу, переданим методом AJAX, проводить шифрування епізоду за системами ICPC2 та МКХ – 10. Модуль шифрування епізоду звернення повертає значення шифру методом AJAX та виводить на екран користувача. На завершальному етапі проводиться підготовка до вивантаження пулу даних до баз знань. Спершу проходить перевірка на наявність точної копії в базі знань введенного користувачем вектору анамнезу. За відсутності точної копії вектору анамнезу модуль завершення епізоду проводить перевірку на відповідність структури вектору та вносить новий вектор в базу знань векторів. Якщо точна копія вектору наявна в базі знань модуль завершення епізоду переходить до аналізу плану лікування. Аналізатор плану лікування проводить пошук в структурованому об'єкті JSON бази знань препарати наявні в плані лікування. За відсутності препаратів вносяться в базу знань, за наявності – ігноруються. Після внесення пулу інформації до баз знань клієнту виводиться повідомлення про успішність завершення епізоду.

Висновки. На основі поданого матеріалу можна зробити висновок, що реалізований, за даною архітектурою, кінцевий програмний продукт допоможе сімейному лікарю оптимізувати робочий процес, зменшити витрату часу на прийом пацієнта та обробку його анамнезу захворювання, встановити загальний шаблон алгоритму та порядок дій проведення та обробки прийому пацієнта. Дана архітектура має можливість масштабування та розгортання на різних типах хмарних обчислювальних середовищ. Завдяки використанню алгоритму наївного Баєса відповідь від сервера на запит користувач отримує швидко, також даний алгоритм дає можливість обробляти великі навчальні вибірки та швидко проводити класифікацію діагнозу. Основною позитивною властивістю являється модульність архітектури. Зі сторони розробки модульність виражається в можливості легкої та швидкої інтеграції нового розробленого модулю, а зі сторони користувача модульність виражається в можливості використання незалежно один від одного модулів встановлення діагнозу, розробки плану лікування та шифрування звернення пацієнта.

Література

1. Порєва Г.С. Методи аналізу звуків легень для оцінки стану дихальної системи людини / Порєва Г.С. / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2020. – 2 с.

2. Шахгельдян К.И., Гельцер Б.И., Курпатов И.А. Методы машинного обучения для дифференциальной диагностики болезней органов дыхания / Шахгельдян К.И., Гельцер Б.И., Курпатов И.А. / Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, 2019. – С. 10–13.

References

1. Porieva H.S. Metody analizu zvukiv lehen dlia otsinky stanu dykhalnoi systemy liudyny / Porieva H.S. / Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy «Kyivskyi politekhnichnyi instytut imeni Ihoria Sikorskoho», 2020. – 2 s.

2. Shahgeldyan K.I., Gelcer B.I., Kurpatov I.A. Metody mashinnogo obucheniya dlya differentsialnoy diagnostiki boleznej organov dyhaniya / Shahgeldyan K.I., Gelcer B.I., Kurpatov I.A. / Vladivostokskij gosudarstvennyj universitet ekonomiki i servisa, 2019. – S. 10–13.

Надійшла / Paper received: 27.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 05.06.2020

МЕТОД ЗМЕНШЕННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ ПЕРЕХОДУ ДО ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ З НЕЛІНІЙНИМИ БЛОКАМИ

У статті запропоновано метод переходу до індивідуальної функції перетворення вимірювального каналу з декількома нелінійними блоками, який має суттєво нижчу трудомісткість порівняно із традиційним підходом. Пропонований метод подано на прикладі перетворювача температура-частота на базі термістора та мультивібратора на базі операційного підсилювача і мостового перетворювача. Проведений аналіз похибок вимірювального каналу показав, що вони не перевищують $\pm 1^\circ\text{C}$ у діапазоні вимірювання від мінус 20°C до $+100^\circ\text{C}$ при чутливості $0,003^\circ\text{C}$.

Ключові слова: вимірювання температури, термістор, похибка вимірювання, функція перетворення, калібрування, нелінійні блоки.

V. KOCHAN

Research Institute of Intelligent Computer Systems
Western Ukrainian National University

THE METHOD OF REDUCING THE LABOR OF THE TRANSITION TO THE INDIVIDUAL FUNCTION OF CONVERSION OF THE MEASURING CHANNEL WITH NONLINEAR BLOCKS

In scientific research and in the praxis of the engineer often appear spontaneous problems of temperature measurements. However, as a rule of thumb, cheap sensors and simple measuring circuits have large errors and nonlinear conversion characteristics. Therefore, the task of determining an individual conversion characteristic of such Ad-hoc measurement systems is complex and time consuming. In the range from $-(20 \dots 0)^\circ\text{C}$ to $+(100 \dots 120)^\circ\text{C}$, it is reasonable to use the thermistor as a temperature sensor due to its low price, high sensitivity and wide range of nominal resistance. However, the thermistor are characterized by a large variation of its parameters. The permissible deviation of the resistance from the nominal one at 20°C can reach $\pm 20\%$, and the permissible deviation of the temperature coefficient from the nominal one can reach $\pm 5\%$. It is reasonable to determine the individual thermistor conversion function in two reference fixed points. The first point is the melting point of ice. As the second point for calibrating the thermistor, it is reasonable to use the axillary temperature of a healthy person. In the vast majority of cases, this temperature is 36.6°C . The method for a significant simplification of obtaining the individual conversion characteristic for a measuring system with nonlinear blocks is considered in this article. For this purpose, there is developed a technique of considerably lower complexity. The proposed method is illustrated on the case study of the temperature-to-frequency converter. The temperature-to-frequency converter is based on the thermistor as a temperature sensor and the multivibrator. The latter is based on the operational amplifier and the bridge circuit. The error analysis carried out for the whole measuring system revealed that the total measurement error does not exceed $\pm 1^\circ\text{C}$ within the measurement range from -20°C to $+120^\circ\text{C}$ with the sensitivity of 0.003°C . The total error of measurements can be further reduced in approximately 2-4 times when using the mercury thermometer with the error of $\pm 0.1^\circ\text{C}$ to determine individual conversion characteristic of the considered measuring system. The proposed solution combines knowledge from the many fields of knowledge such as electronics, instrumentation, and metrology. Thus, the proposed solution can be used as a base for student training.

Key words: temperature change, thermistor, change of temperature, changeover function, calibration, non-linear blocks.

Вступ. Постановка задачі. Як при проведенні наукових досліджень, так і у практичній діяльності інженера часто виникають одноразові, спонтанні задачі вимірювання температури (так звані Ad-hoc задачі [1]). Наприклад, разовий контроль температури двигунів, підшипників, інших пристроїв та тестування їх захисту від перегріву [2], технології Інтернету речей [2, 3], дослідження теплоємності та теплопровідності матеріалів [3], а також багато інших [4]. Для вирішення таких Ad-hoc задач найчастіше не доцільно купувати спеціалізоване обладнання. Доцільно використати можливості широко розповсюджених сенсорів та простих схем їх ввімкнення. Зокрема, доцільно використовувати схеми різних генераторів, що перетворюють температуру у частоту або період. Такі сигнали легко передавати до пристроїв опрацювання даних, індикації тощо [1]. Але, як правило, дешеві сенсори та прості схеми генераторів мають великі похибки та нелінійні функції перетворення. Тому, при калібруванні таких Ad-hoc вимірювальних каналів (ВК), виникає проблема ідентифікації їх індивідуальних функцій перетворення (ІФП). Тому розглянемо метод зменшення трудомісткості переходу до ІФП ВК з двома нелінійними блоками. При цьому як сенсор використаємо термістор [1], який має ряд переваг над іншими сенсорами при вимірюванні невисоких температур.

1. Відомі засоби вимірювання температури

Більшість приладів і систем вимірювання температури, які випускаються промисловістю, використовують як сенсори термопари та термометри опору [1]. Але термопари [1, 5] мають низьку чутливість ($10\text{--}70\text{ мкВ}/^\circ\text{C}$), що вимагає використання завадостійких ВК [7]. Достатню завадостійкість забезпечують лише аналого-цифрові перетворювачі сигма-дельта та двотактного інтегрування [1, 6]. Крім того, термопари вимагають застосування подовжувальних проводів та схеми компенсації температури вільних кінців, а також її налаштування [1]. Тому при застосуванні термопар як сенсорів температури доцільніше використовувати відповідні спеціалізовані засоби. При цьому слід врахувати, що самі термопари мають відносно велику похибку вимірювання [5]. Найбільш розповсюджені термопари типу К при вимірюванні температури до 300°C мають допустиму похибку $\pm 2,5^\circ\text{C}$ [5]. А їх тестування та корекція їх похибок вимагають спеціальних засобів [8, 9] і методів [10, 11].

Термометри опору [1] можуть забезпечити вищу точність і чутливість. Допустима похибка широко розповсюджених мідних термометрів опору не перевищує $\pm 0,25$ °C при вимірюванні температури 0 °C і $\pm 0,5$ °C при вимірюванні температури 100 °C. Але реалізація високої чутливості вимагає збільшення робочого струму, а це веде до зростання похибки від самонагріву [1, 5]. Другим недоліком термометрів опору при використанні мостових схем вимірювання є значний вплив опору провідників підключення [1]. Тому, при застосуванні термометрів опору як сенсорів температури, також доцільніше використовувати відповідні спеціалізовані засоби. Але, якщо вирішення поставленої Ad-hoc задачі вимагає вимірювання середніх температур, наприклад, у діапазоні від $-(20...30)$ °C до $+(100...120)$ °C, то як сенсори доцільно використати напівпровідникові діоди та термістори [1]. Одним з основних недоліків діодів є випрямлення завади через нелінійну залежність струму сенсора від напруги на ньому. Це не дає реалізувати їх потенційну точність на практиці. Термістори мають лінійну залежність струму сенсора від напруги на ньому. Тобто вони не спотворюють заваду і для них простіше забезпечити потрібну завадостійкість ВК.

Основними перевагами термісторів можна вважати:

1. Можливість вибору термістора з великим опором (опір широко вживаних термісторів при 20°C знаходиться у межах від 10 Ом до 1 МОм).

2. Велика чутливість термісторів – близько 4 %/°C.

3. Можливість вибору термісторів різної конструкції (наприклад, у вигляді шайби) та розмірів (мінімальний розмір – кулька діаметром приблизно 1 мм).

4. Низька ціна.

Вказані переваги дають змогу:

1. Мати дуже малу похибку від нагріву термістора робочим струмом при заданій чутливості. Слід відзначити, що чутливість термістора зменшується лінійно із зменшенням його струму. У той же час потужність, що виділяється на термісторі, зменшується із квадратом струму. Наприклад, стандартний мідний термометр опору при розсіюваній потужності 10 мВт має похибку від самонагріву до 0,2 °C [5]. Якщо його опір 100 Ом, то відповідний струм становить 10 мА, а чутливість – 4 мВ/°C. Якщо застосувати термістор опором 10 кОм відповідний струм буде становити 1 мА, а чутливість – 400 мВ/°C. Але коли задати струм 0,1 мА, то похибка від самонагріву термістора не перевищить 0,002 °C (у 100 разів менша), а чутливість буде 40 мВ/°C (у 10 разів більша). Таким чином, термістори створюють значно більші можливості вдалого компромісу між чутливістю, самонагрівом та допустимим рівнем завад.

2. Через високу чутливість термістора та великий початковий опір можна використовувати найпростіше двопровідне підключення сенсора до входу вимірювального перетворювача. Наприклад, якщо опір кожного провідника сполучення становить 1 Ом, то для стандартного мідного термометра опором 100 Ом похибка буде становити 5 °C. Для термістора опором 10 кОм та чутливістю 4 %/°C похибка не буде перевищувати 0,005 °C, тобто у 1000 разів менше.

3. Завдяки високій чутливості значно спрощується отримання достатньої завадостійкості. При цьому термістори мають лінійну залежність струму сенсора від напруги на ньому. У такому випадку можна успішно застосовувати методи цифрової фільтрації результатів вимірювання температури.

Основним недоліком термісторів є великі похибки вимірювання температури. Таким чином метою даної статті є підвищення точності вимірювання температури термісторами за рахунок переходу до ІФП.

2. Перехід до індивідуальної функції перетворення термістора

Причиною великої похибки вимірювання температури термісторами є великий розкид їх параметрів. Допустиме відхилення опору від номінального при 20 °C сягає ± 20 %, а допустиме відхилення температурного коефіцієнту від номінального сягає ± 5 % [1]. Якщо апроксимувати ці допустимі відхилення, то допустимі максимальні відхилення результатів вимірювання температури за допомогою термісторів від номінальної ФП у діапазоні від -20 °C до 100 °C будуть відповідати показаним на рис. 1. Як видно з нього, ці похибки вимірювання температури сягають 13 °C і не задовольняють вимоги жодних Ad-hoc задач.

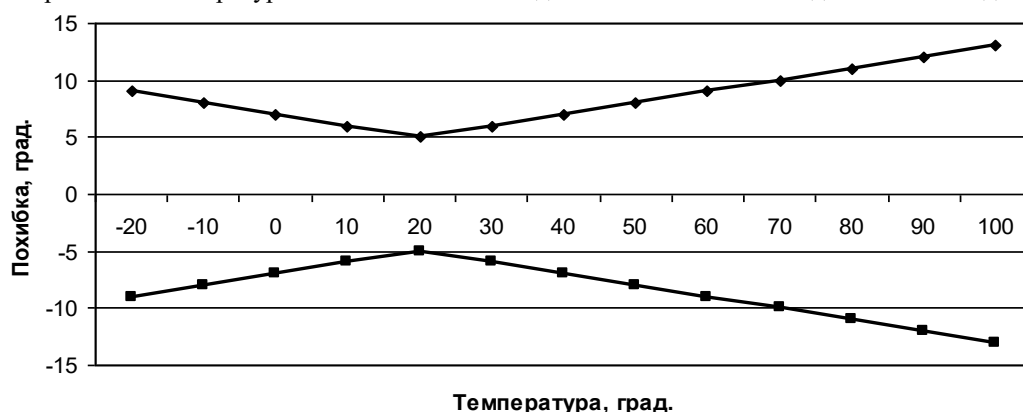


Рис. 1. Похибка вимірювання температури термістором при використанні його номінальної ФП

У цьому випадку найбільш ефективним методом підвищення точності вимірювання є перехід до ІФП термістора. Згідно із [1], ІФП термістора описується експонентою

$$R_T = A \cdot e^{-\frac{B}{T}}, \quad (1)$$

де R_T – опір термістора при температурі T , K (у Кельвінах); A , B – параметри термістора.

Як видно з (1), перехід до ІФП вимагає визначення дійсного опору (калібрування) термістора щонайменше при двох температурах (у двох точках діапазону перетворення). Тоді можна скласти систему двох рівнянь з двома невідомими (параметрами термістора A та B). Рішенням системи будуть формули:

$$B = \frac{\ln R_{T1} - \ln R_{T2}}{\frac{1}{T2} - \frac{1}{T1}}, \quad (2)$$

$$A = \frac{R_{T1}}{e^{-\frac{B}{T1}}}, \quad (3)$$

де R_{T1} , R_{T2} – опір термістора відповідно при температурах $T1$, $T2$ (у Кельвінах).

При переході до ІФП виникає проблема вибору еталонних засобів [12]. При Ad-hoc вимірюваннях, зазвичай, доступу до них немає, але можна використати для калібрування підручні засоби.

Досить просто можна створити температуру 0°C . Для цього слід у холодильнику виготовити кубики льоду, розмолоти їх м'ясорубкою або блендером, змішати з водою та відстояти разом з термістором не менше 20 хв у теплоізолюваній посудині (наприклад, скляній банці обмотаній рушниками). Після витримки у банці має бути суміш води і льоду (а не плавати на поверхні води розмелений лід). Для забезпечення високої точності калібрування треба використати дистильовану воду [13]. Але експериментальні дослідження показали, що при використанні побутової водопровідної води, попередньо кип'яченої, максимальна похибка відтворення температури 0°C не перевищує $\pm 0,2^\circ\text{C}$.

Як другу точку калібрування при Ad-hoc вимірюваннях доцільно використати температуру тіла здорової людини. У переважній більшості випадків ця температура становить $36,6^\circ\text{C}$. Випадкові відхилення від цього значення, зазвичай, не перевищують $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Якщо виникає підозра, що відхилення температури тіла людини більші, то добитися похибки не більше $\pm 0,2^\circ\text{C}$ можна за допомогою широко розповсюдженого медичного термометра. Але традиційний медичний термометр показує максимальне значення температури оточення після «стріпування». Тому безпосереднє калібрування термістора за поточними показами медичного термометра може вести до великих випадкових похибок (промахів). При калібруванні за допомогою тіла людини, останнє виступає термостатом, який має доволі велику стабільність підтримання температури. Тому результат вимірювання температури тіла людини медичним термометром можна використати для наступного калібрування термістора. Термістор слід розмістити аналогічно до медичного термометра. Тоді похибка відтворення температури також не буде перевищувати $\pm 0,2^\circ\text{C}$.

Похибка вимірювання температури, яку вносить сам термістор, при його калібруванні у вказаних двох точках і переході до ІФП не перевищує значень, показаних на рис. 2. Ці межі допустимої похибки отримані лінійною екстраполяцією найгіршої комбінації похибок при калібруванні у температурах $(0 \pm 0,2)^\circ\text{C}$ та $(36,6 \pm 0,2)^\circ\text{C}$. За її результатами було визначено максимальні значення похибки у точках -20°C та $+100^\circ\text{C}$ і між ними було проведено прямі, які показано на рис. 2. Таким чином, прямі, подані на рисунку, показують максимальні значення похибки, яку вносить термістор у похибку ВК. Як видно з рис. 2, при використанні ІФП внесена термістором похибка вимірювання температури стає цілком прийнятною для більшості застосувань. Слід також відзначити, що при використанні більш досконалих реперних точок можливе подальше зменшення похибки термістора. Але треба врахувати, що при тривалій експлуатації при температурах вище $60...70^\circ\text{C}$, у деяких термісторів починається деградація, тобто починає проявляти себе дрейф їх ФП.

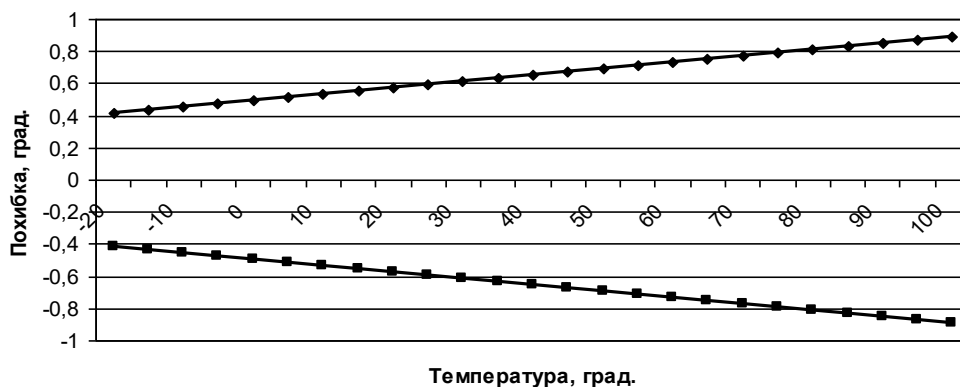


Рис. 2. Похибка вимірювання температури, яку вносить термістор, при переході до ІФП

3. Канал вимірювання температури за допомогою термістора

Як було вказано, при Ad-hoc вимірюваннях доцільно перетворювати опір термістора у частоту або період [1]. Такі сигнали не змінюють інформативний параметр при передачі. Їх легко перетворити як у

аналогову напругу, так і у цифровий код. На рис. 3 подано просту але стабільно працюючу схему перетворювача опору термістора у частоту або період. Її перевагою є те, що частота/період вихідного сигналу залежить лише від параметрів пасивних елементів схеми. При ввімкненні схеми напруга на конденсаторі C1 виходить меншою за напругу на виході подільника R3 і R4. У такому випадку напруга на виході операційного підсилювача OA1 додатна, конденсатор C1 заряджається через термістор R1. OA1 працює у режимі компаратора. Його напруга спрацювання визначається напругою подільника R3 і R4 та струмом зміщення, який задається резистором R2. Доцільно вибрати $R3 = R4$. Тоді напруга на неінвертуючому вході OA1 за рахунок струму зміщення через R2 буде вищою за половину напруги живлення U_{ps} . А напруга на виході OA1 буде близька до напруги живлення U_{ps} (див. рис. 5). Конденсатор C1 заряджається доки напруга на інвертуючому вході OA1 стане рівною напрузі на його неінвертуючому вході (див. рис. 4). Тоді OA1 змінює стан – напруга на його виході стає близькою до нуля (див. рис. 5). Конденсатор C1 починає розряджатися через термістор R1 (див. рис. 4). Напруга на неінвертуючому вході OA1 за рахунок струму зміщення через R2 буде нижчою за половину напруги U_{ps} . Конденсатор C1 розряджатися до цієї напруги. Тоді OA1 знову змінює стан – напруга на його виході стає близькою до напруги живлення U_{ps} (див. рис. 5). Конденсатор C1 знову заряджається доки напруга на інвертуючому вході OA1 стане рівною напрузі на його неінвертуючому вході. Цикли заряду / розряду C1 періодично повторюються (див. рис. 4 та 5).

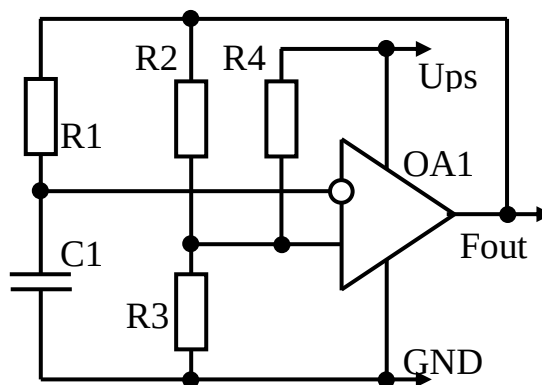


Рис. 3. Схема перетворювача опору термістора у частоту або період

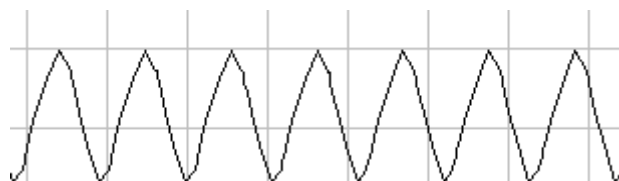


Рис. 4. Форма імпульсів заряду/розряду конденсатора

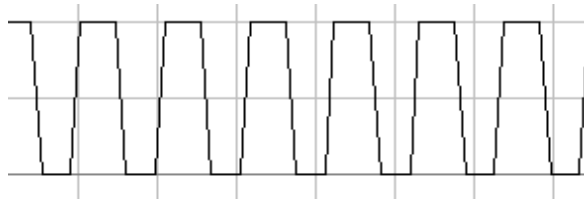


Рис. 5. Форма імпульсів Fout на виході операційного підсилювача OA1

4. Перехід до індивідуальної функції перетворення вимірювального каналу

Найзручніше користуватися наскрізною ФП ВК – залежністю вихідної частоти або періоду від температури. Але у ВК, поданий на рис. 3, входять два структурні елементи, що мають нелінійну ФП – термістор і перетворювач опір-частота. При цьому форма ФП термістора відома (експонента, див. (1) і (2)) [1]. А ФП перетворювача опір-частота – невідома. Відповідно до рекомендацій [14], при невідомій формі ФП для її достовірної ідентифікації при роботі у вузькому діапазоні необхідно не менше 5 точок калібрування. При роботі у широкому діапазоні – не менше 7 точок калібрування. При вимірюванні температури у діапазоні від -20°C до $+100^{\circ}\text{C}$ опір термістора міняється не менше, ніж у 100 разів. Це дуже широкий діапазон вимірювання. Реалізувати 7 або більше температурних точок калібрування – трудомістка задача, яка вимагає відповідного еталонного обладнання.

Пропонується метод різкого зменшення кількості точок калібрування за рахунок того, що ФП термістора відома з високою достовірністю. Для цього необхідно виконати наступні операції:

- визначити, згідно із (2) та (3), ІФП термістора. Відповідна методика подана у розділі 3, для цього цілком достатньо двох точок калібрування;
- відповідно до (1), розрахувати опір термістора у 10–15 точках, приблизно рівномірно розміщених у всьому діапазоні вимірювання температури;

- підключити у схему вимірювального перетворювача (див. рис. 3) замість термістора R1 магазин опору;
- послідовно встановити на магазині опору розраховані при виконанні п. 2 значення опору термістора та записати отримані при цьому значення вихідної частоти (або періоду);
- сформувати наскрізну ФП ВК шляхом співставлення значень температури, для яких при виконанні п. 2 були розраховані значення опору термістора, та отриманих при виконанні п. 4 значень вихідної частоти (або періоду);
- апроксимувати наскрізну ФП ВК. Для цього доцільно використати метод регресійного аналізу або нейронну мережу [15].

Пропонований метод ілюструється наступними рисунками. На рис. 6 подано залежність опору термістора від температури. Значення опору розраховані для 13 точок, рівномірно, що 10°C , розміщених у діапазоні від -20°C до 100°C . На рис. 7 подано залежність частоти вимірювального перетворювача від опору для розрахованих 13 точок. Наскрізну ФП ВК температури отримують шляхом апроксимації залежності отриманої співставленням значень температури (вісь абсцис графіка рис. 6) та відповідних значень вихідної частоти (вісь ординат графіка рис. 7). Слід відзначити, що часто поліноміальна апроксимація не дає добрих результатів. Як це показано на рис. 8 (крива більшої амплітуди), отримана за допомогою регресійного аналізу похибка сумірна з похибкою термістора (див. рис. 2). Майже завжди кращі результати дають нейронні мережі [13]. Отримана (див. рис. 8, крива меншої амплітуди) за допомогою нейронної мережі похибка на порядок менша за похибку термістора (див. рис. 2) – нею можна нехтувати.

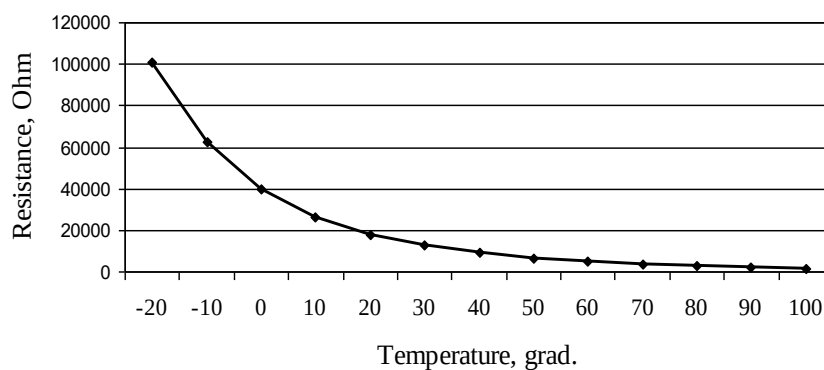


Рис. 6. Залежність опору термістора від температури

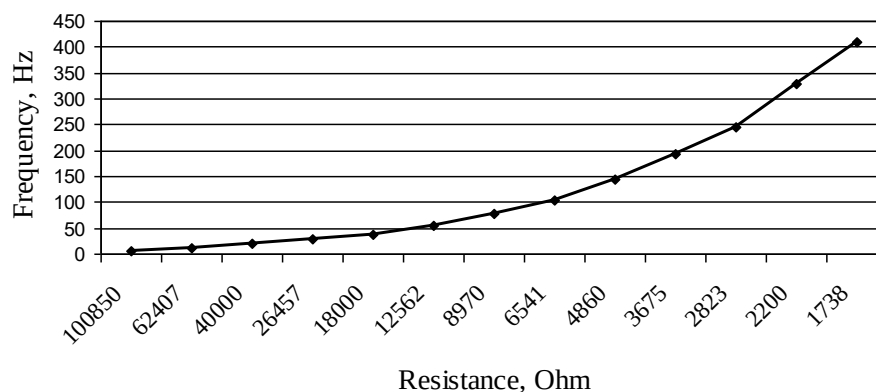


Рис. 7. Залежність вихідної частоти вимірювального перетворювача від опору

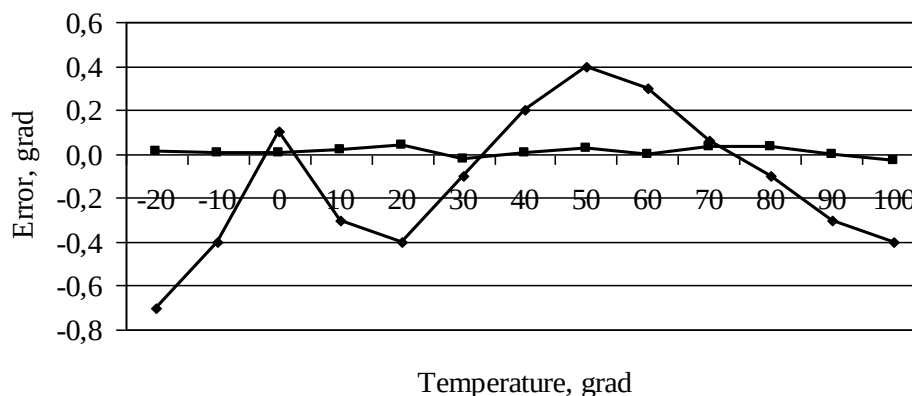


Рис. 8. Залежність похибки апроксимації наскрізної ФП від вимірюваної температури

5. Оцінка похибки вимірювання температури

У похибку вимірювання температури пропонується вводити такі компоненти:

– похибка переходу до індивідуальної ФП ВК. При використанні запропонованого методу (див. розд. 5) ця похибка буде рівною сумі похибок калібрування термістора (див. рис. 2) та апроксимації наскрізної ФП ВК (див. рис. 8);

– похибка вимірювального перетворювача. При використанні запропонованого підходу (див. розд. 5) ця похибка буде визначатися температурними та часовими змінами елементів схеми перетворювача (див. рис. 3). Температурний коефіцієнт широко вживаних керамічних конденсаторів (але не на основі титанату барію), не перевищує $0,05 \dots 0,1 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ і є більшим за температурний коефіцієнт резисторів. Додаткова похибка, яку внесе конденсатор, при зміні температури $\pm 10^{\circ}\text{C}$ відносно нормальних умов, відповідно до температурного коефіцієнта термістора $4 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$, не буде перевищувати $0,125 \dots 0,25^{\circ}\text{C}$;

– похибка магазину опору, який використовувався для імітації термістора при виконанні пп. 3, 4 запропонованого методу. При використанні дешевого магазину опору з допустимою похибкою $0,1 \text{ } \%$ ця похибка, відносно температурного коефіцієнта термістора $4 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$, не буде перевищувати $0,025^{\circ}\text{C}$.

– похибка нагріву термістора робочим струмом. Для оцінки цієї похибки приймемо, як і при розрахунку наскрізної ФП ВК, що при температурі 20°C опір термістора $R_{20} = 18 \text{ k}\Omega$, а максимальний робочий струм $I_T = 0,1 \text{ mA}$. Тоді максимальна потужність P_T , яку розсіює термістор, становить

$$P_T = I_T^2 R_{20} \leq 0,2 \text{ mW}. \quad (4)$$

Для термометрів опору похибка від нагріву робочим струмом не перевищує $0,2^{\circ}\text{C}$ при розсіюванні потужності $P_{0,2} = 10 \text{ mW}$ [5]. Якщо умови тепловіддачі термістора аналогічні, то похибка від його нагріву робочим струмом не буде перевищувати $0,004^{\circ}\text{C}$. Такою похибкою можна нехтувати;

– похибка вимірювання вихідної частоти або періоду коливань вимірювального перетворювача. Слід відзначити, що вимірювання частоти або періоду належать до найбільш точних видів вимірювання. У даному випадку похибка вимірювання вихідної частоти практично визначається заданим максимально допустимим часом вимірювання. Щоби мати малий вплив потужності, споживаної перетворювачем на результат вимірювання температури (при розміщенні його у одному корпусі з термістором) ОА1 вибрано мікропотужним, і, відповідно, низькочастотним. Тоді доцільніше вимірювати не частоту, а період коливань вимірювального перетворювача.

Слід відзначити, що похибки від відхилення параметрів елементів ВК від номінальних будуть ліквідовані при переході до його індивідуальної наскрізної ФП. Це дає можливість гнучкого вибору елементів при таких Ad-hoc вимірюваннях. Завадостійкість запропонованого ВК також буде високою. Спади напруги на термісторі сягають 2 V , тому вплив завад нормального виду буде малим. Однак при опрацюванні результатів вимірювання частоти або періоду коливань вимірювального перетворювача можливе використання доволі багатьох методів цифрової фільтрації.

Таким чином, сумарна похибка вимірювання температури цим ВК не буде перевищувати 1°C .

Висновки. Як видно з проведеного аналізу, при потребі вимірювати температуру в умовах, близьких до кімнатних, можна не використовувати спеціалізоване обладнання. Вимірювати температуру у діапазоні від $-(20 \dots 30)^{\circ}\text{C}$ до $+(100 \dots 120)^{\circ}\text{C}$ з доволі високою точністю (похибка не більше $\pm 1^{\circ}\text{C}$) можна за допомогою термісторів та простих схем генераторів. Для цього слід перейти до індивідуальної ФП сенсора – термістора, або всього ВК. Проведений аналіз похибок ВК показав, що запропонована методика калібрування без використання стандартизованих еталонних засобів дає змогу забезпечити вказану точність таких Ad-hoc вимірювань.

Література

1. Webster J. G. (Ed.). The Measurement, Instrumentation, and Sensors: Handbook. CRC Press. 1999.
2. Beshley H., Beshley M., Maksymyuk T., & Strykalyuk I. Method of Centralized Resource Allocation in Virtualized Small Cells Network with IoT Overlay. In Proceedings of the 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine. 2018. P. 1147-1151.
3. Przystupa K., Vasylykivskiy I., Ishchenko V., Pohrebennyk V., & Kochan O. Assessment of Electromagnetic Pollution in Towns. In Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE). June 2019. P. 143-146.
4. Ferrero A., Scotti V. Forensic Metrology: A New Application Field for Measurement Experts Across Techniques and Ethics. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. 2013. Vol. 16. Issue 1. P. 14-17.
5. Бычковский Р.В., Контактные датчики температуры. – М.: Металлургия, 1978. – 238 с.
6. Kester W. A. Data Conversion Handbook. Newnes. 2005.
7. Jun, S., & Kochan, O. Common Mode Noise Rejection in Measuring Channels. Instruments and Experimental Techniques. 2015. Vol. 58. Issue 1. P. 86-89.
8. Wang J., Kochan O., Przystupa K., & Su J. Information-measuring System to Study the Thermocouple with Controlled Temperature Field. Measurement Science Review. 2019. Vol. 19. Issue 4. P. 161-169.

9. Jun S., Kochan O., & Kochan R. Thermocouples with Built-in Self Testing. *International Journal of Thermophysics*. 2016. Vol. 37. Issue 4. P. 37.
10. Jun S., Kochan O., Chunzhi W., & Kochan R. Theoretical and Experimental Research of Error of Method of Thermocouple with Controlled Profile of Temperature Field. *Measurement Science Review*. 2015. Vol. 15. Issue 6. P. 304–312.
11. Yeromenko V., Kochan O. The Conditional Least Squares Method for Thermocouples Error Modeling. In *Proceedings of the 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*. Berlin, Germany. 2013. Vol. 1. P. 157–162.
12. Birch J. Benefit of Legal Metrology for the Economy and Society. A study for the International Committee of Legal Metrology. 2003. [Online]. Available at: https://www.oiml.org/en/files/pdf_e/e002-e03.pdf.
13. Кухлинг Х. Справочник по физике / Х. Кухлинг; пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с.
14. Рогельберг И.Л. Сплавы для термопар / И.Л. Рогельберг, В.М. Бейлин. – М. Metallurgiya, 1983. – 360 с.
15. Kröse B., van der Smagt P. *An Introduction to Neural Networks*. Amsterdam: University of Amsterdam. 1993.

References

1. Webster J. G. (Ed.). *The Measurement, Instrumentation, and Sensors: Handbook*. CRC Press. 1999.
2. Beshley H., Beshley M., Maksymuk T., & Strykhalyuk I. Method of Centralized Resource Allocation in Virtualized Small Cells Network with IoT Overlay. In *Proceedings of the 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine. 2018. P. 1147-1151.
3. Przystupa K., Vasylykivskyi I., Ishchenko V., Pohrebennyk V., & Kochan O. Assessment of Electromagnetic Pollution in Towns. In *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE)*. June 2019. P. 143-146.
4. Ferrero A., Scotti V. Forensic Metrology: A New Application Field for Measurement Experts Across Techniques and Ethics. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*. 2013. Vol. 16. Issue 1. P. 14-17.
5. Bychkovskiy R.V., Kontaknyye datchiki temperatury. – М.: Metallurgiya, 1978. – 238 с.
6. Kester W. A. *Data Conversion Handbook*. Newnes. 2005.
7. Jun, S., & Kochan, O. Common Mode Noise Rejection in Measuring Channels. *Instruments and Experimental Techniques*. 2015. Vol. 58. Issue 1. P. 86-89.
8. Wang J., Kochan O., Przystupa K., & Su J. Information-measuring System to Study the Thermocouple with Controlled Temperature Field. *Measurement Science Review*. 2019. Vol. 19. Issue 4. P. 161-169.
9. Jun S., Kochan O., & Kochan R. Thermocouples with Built-in Self Testing. *International Journal of Thermophysics*. 2016. Vol. 37. Issue 4. P. 37.
10. Jun S., Kochan O., Chunzhi W., & Kochan R. Theoretical and Experimental Research of Error of Method of Thermocouple with Controlled Profile of Temperature Field. *Measurement Science Review*. 2015. Vol. 15. Issue 6. P. 304-312.
11. Yeromenko V., Kochan O. The Conditional Least Squares Method for Thermocouples Error Modeling. In *Proceedings of the 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*. Berlin, Germany. 2013. Vol. 1. P. 157–162.
12. Birch J. Benefit of Legal Metrology for the Economy and Society. A study for the International Committee of Legal Metrology. 2003. [Online]. Available at: https://www.oiml.org/en/files/pdf_e/e002-e03.pdf.
13. Kuchling H. *Spravochnik po fizike* / H. Kuchling; per. s nem. – М.: Mir, 1982. – 520 с.
14. Rogelberg I.L. *Splavy dlya termopar* / I.L. Rogelberg, V.M. Beylin. – М. Metallurgiya, 1983. – 360 с.
15. Kröse B., van der Smagt P. *An Introduction to Neural Networks*. Amsterdam: University of Amsterdam. 1993.

Надійшла / Paper received: 07.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 04.06.2020

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В ПОДСИСТЕМЕ АУДИТА ПРЕДПОСЫЛКИ СРЕДНЕГО УРОВНЯ ИТ СППР

В статье рассматривается проблема постановки задач автоматизированного анализа данных в подсистеме аудита предпосылки Положений (стандартов) бухгалтерского учета в ИТ СППР, как составляющих методики обобщенно-множественного отображения информации. Определены функциональные особенности учета отображений множеств данных элементарных задач двух видов (по функциональному назначению) за период проверки в подсистеме среднего уровня и наборов данных задач за период проверки. Выполнена постановка задач автоматизированного анализа данных за период проверки в подсистеме аудита предпосылки среднего уровня. Данные постановки задач инвариантны относительно особенностей предприятия и являются основанием для создания методики автоматизации решения задач анализа данных в ИТ СППР.

Ключевые слова: постановка задачи, автоматизированный анализ данных, информационная технология, СППР аудита, методика обобщенно-множественного отображения информации, средний уровень.

T. NESKORODIEVA

Donetsk National University named Vasyil Stus

TASKS STATEMENT OF AUTOMATED DATA ANALYSIS OF THE PREREQUISITES AUDIT SUBSYSTEM OF THE AVERAGE LEVEL DSS IT

The article discusses the problem of setting tasks for automated data analysis in the audit subsystem of the prerequisites for Accounting Regulations (standards) in IT DSS, as components of the generalized-multiple display of information. The functional features of accounting for the mappings of the sets of these tasks for the verification period in the mid-level subsystem are determined. This made it possible to determine that the direct mapping of these tasks is ambiguous, and the reverse is unambiguous, and also that the background check is not automatically decomposed into solving problems for each set of accounting objects and operations. Based on the methodology of generalized-multiple display of information, two types of tasks for automated data analysis for the period of verification in the audit subsystem of the medium level are formulated. Two types of tasks of automated data analysis for the period of verification in the audit subsystem of the medium level have been formulated. The first local sub-task is data analysis to determine equivalent and nonequivalent subsets when displaying data of an average level of sets of parallel consecutive operations during the verification period. The second local subtask is data analysis to determine equivalent and nonequivalent subsets when displaying data of an average level of accounting for sets of objects that are transformed as a result of many parallel sequential operations during the verification period. The problem statement data is invariant with respect to the enterprise features and is the basis for creating a solution automation technique of data analysis tasks in IT DSS. These statement of tasks are invariant with respect to the characteristics of the enterprise and are the basis for creating methods for automating the solution of problems of data analysis in IT DSS.

Key words: task statement, automated data analysis, information technology, audit DSS, generalized-plural presentation of information methodology, middle level.

Постановка проблемы. В настоящее время актуальной научно-технической проблемой информационных технологий финансово-экономической сферы является автоматизация анализа больших объемов данных финансово-экономической информации предприятий хранящихся и поступающих в режиме онлайн в базы данных локальных и глобальных компьютерных систем с целью формирования рекомендаций принятия решений при аудите. Так, например, эффективность ИТ бизнеса в сокращении коррупции обоснована в [1]. В [2] рассмотрены теоретические и практические вопросы связанные с применением ИТ в аудите. Определены изменения, которые вносит в методологию аудита его комплексная компьютеризация.

Анализ последних источников. Применение современных систем учета и управления, на предприятии которые интегрированы в глобальные, многоуровневые системы информационных компьютерных сетей дает потенциальные возможности обработки больших объемов данных, которые используются не в полной мере [3]. В [4] представлена архитектура подсистем внешнего и внутреннего аудита системы Audit 4.0, внедрение и функционирование которых сталкивается с проблемой обработки больших объемов данных. Технические проблемы внедрения ИТ в контрольно-ревизионной деятельности выделены в [5].

Создание современных ИТ аудита предполагает формирование рекомендуемых решений на основании результатов автоматизированного применения интеллектуальных технологий анализа данных. Говоря об автоматизации процедур анализа как составляющих при проектировании ИТ аудита, следует отметить, что в литературе представлены методы обнаружения мошенничества, основанные на применении моделей нейронных (вероятностных) сетей, логистических регрессий, деревьях решений, экспертных оценок, статистических методах анализа данных [6–10]. Недостатком перечисленных методов является тот факт, что их применение дает результат, если выполняются определенные условия, которые зависят в частности от свойств показателей. Следовательно они не являются универсальными, что затрудняет автоматизацию анализа на их основании и их использование при решении задач автоматизации на всех этапах аудита.

Проектирование ИТ СППР аудита согласно методике обобщенно-множественного отображения информации основано на формализации функциональной структуры преобразований проверяемых данных в виде последовательности отображений множеств. Первый этап создания методики – постановка задач. Первый вид задач – определение эквивалентных и неэквивалентных подмножеств при отображении множеств данных параллельно последовательных операций. Второй вид задач по функциональному

назначению – выделение эквивалентных и неэквивалентных подмножеств при отображении данных множеств объектов двух видов, которые преобразуются в результате множества параллельно последовательных операций. Методика постановки задач проиллюстрирована на примере подсистемы аудита предпосылки «Полнота» материальных расходов [11]. Данные элементарные задачи образуют набор взаимосвязанных задач по отношению ко всем множествам объектов учета и операций при учете материальных расходов за период проверки на среднем уровне.

Цель статьи: выполнить формальную постановку задач автоматизированного анализа данных элементарных задач подсистемы аудита предпосылки за период проверки инвариантную относительно особенностей предприятия и как составляющих методики обобщенного множественного отображения данных.

Для этого необходимо решить следующие **задачи:**

- определить функциональные особенности учета данных элементарных задач аудита за период проверки;
- выполнить формальную постановку задач автоматизированного анализа данных задач за период проверки.

В порядке общности методика рассматривается для подсистемы аудита предпосылки «Полнота» данных среднего уровня экономико-производственной (основной) деятельности предприятия так как в силу количества видов подмножеств и видов взаимосвязей между ними, количества элементарных задач – это наиболее общая и трудоемкая задача. Для наглядности и связи с предыдущими результатами автора [11] составляющие методики рассматриваются на примере подсистемы аудита предпосылки «Полнота» материальных расходов.

Изложение основного материала. Функциональные особенности учета данных элементарных задач за период проверки. Обозначим элементы предметной области аудита на среднем уровне:

E – множество объектов,

X – множество операций,

$\overline{e^{(c)}}$ – вектор обобщенных показателей среднего уровня учета множества объектов E ,

$\overline{x^{(c)}}$ – вектор обобщенных показателей среднего уровня учета множества операций X ,

$n^{(c)}$ – номер документа среднего уровня учета,

s и S – вид множества и множество видов объектов учета,

u и U – подвид и множество подвидов объектов учета,

t или T – период учета (проверки).

Совокупность задач аудита в [11] представлена в виде наборов задач двух видов по функциональному назначению. Задача первого вида – определение эквивалентных и неэквивалентных подмножеств значений обобщенных показателей среднего уровня $\overline{e(n_s^{(c)})}$ и $\overline{e(n_{s+1}^{(c)})}$ множеств объектов E_s и E_{s+1} двух видов (или подвидов), которые преобразуются в результате множества параллельных операций $X_s^{s+1}(N_s)$ за период t . Задача второго вида – определение эквивалентных и неэквивалентных подмножеств при отображении значений обобщенных показателей среднего уровня $\overline{x(n_s^{(c)})}$ и $\overline{x(n_{s+1}^{(c)})}$ множеств параллельно последовательных операций $X_{s-1}^s(N_s)$ и $X_s^{s+1}(N_{s+1})$ за период t . Для определения возможных режимов анализа данных (параллельный (независимый), одновременный (взаимосвязанный), последовательный) наборов задач сформулированных выше, определим функциональную структуру их учета за период T .

Значения обобщенных характеристик множеств объектов E_s накапливаются в хронологическом порядке по каждому виду s за периоды квантования периода t_l , обобщаются за весь период T и образуют множества данных среднего уровня учета объектов каждого вида:

$$e_s^{(c)} = \left\{ \overline{e(n_s^{(c)}, t_l)}, \overline{e(n_s^{(c)}, T)}, t_l \in T, l = \overline{1, L} \right\}, s \in S, \quad (1)$$

где t_l – период квантования периода учета T .

Множество данных (1) каждого вида формируется на основании подмножеств данных по подвидам u объектов за соответствующие периоды:

$$e_{s,u}^{(c)} = \left\{ \overline{e(n_{s,u}^{(c)}, t_l)}, \overline{e(n_{s,u}^{(c)}, T)}, t_l \in T, l = \overline{1, L} \right\}, u \in U, s \in S. \quad (2)$$

Тогда множество данных среднего уровня учета объектов $e^{(c)}$ за период t , $t \in \{t_l \in T, l = \overline{1, L}\}$ можно представить в виде объединения непересекающихся подмножеств данных объектов каждого вида (3), которые в свою очередь можно представить в виде непересекающихся подмножеств данных подвидов (4):

$$e^{(c)} = \bigcup_{s=1}^S e_s^{(c)}, \quad e_s^{(c)} \cap e_g^{(c)} = \emptyset, \quad s \neq g, \quad (3)$$

$$e_s^{(c)} = \bigcup_{u \in U} e_{s,u}^{(c)}, \quad e_{s,u}^{(c)} \cap e_{s,g}^{(c)} = \emptyset, \quad u \neq g, \quad s \in S, \quad (4)$$

где $e^{(c)}$ – набор данных среднего уровня, характеризующий множество объектов учета.

Значения обобщенных характеристик множеств параллельно последовательных операций за период t , $t \in \{t_l \in T, l = \overline{1, L}\}$ образуют множество данных среднего уровня учета этапов экономико-производственной деятельности (например, осуществления материальных расходов):

$$x_{s-1}^{s(c)} = \left\{ \overline{x(n_s^{(c)})} : m_{s,s-1} = 1, s \in S, (s-1) \in S \right\}, \quad (5)$$

$$x_{s-1,u}^{s,p(c)} = \left\{ \overline{x(n_{s,u}^{(c)})} : m_{u,p} = 1, u \in U, p \in P \right\}, \quad s \in S, \quad (6)$$

где $x_{s-1}^{s(c)}$ – набор данных множества параллельно последовательных операций,

$x_{s-1,u}^{s,p(c)}$ – набор данных подмножества параллельно последовательных операций,

$m_{s,s-1}$ – элемент матрицы смежности видов объектов учета (характеризует виды объектов взаимосвязанные операций, в системе счетов определяется корреспонденцией счетов),

$m_{u,p}$ – элемент матрицы смежности подвидов объектов учета (характеризует подвиды объектов взаимосвязанные операций, в системе счетов определяется корреспонденцией субсчетов),

n – номер документа учета.

Тогда множество данных среднего уровня учета $x^{(c)}$ множества операций X за период t , $t \in \{t_l \in T, l = \overline{1, L}\}$ можно представить в виде объединения непересекающихся множеств и подмножеств данных множеств параллельно последовательных операций:

$$x^{(c)} = \bigcup_{s=1}^S x_s^{(s+1)(c)} = \bigcup_{l=3}^5 x_l^{(c)}, \quad x_l^{(c)} \cap x_m^{(c)} = \emptyset, \quad l \neq m, \quad (7)$$

$$x_s^{s+1(c)} = \bigcup_{u \in U} \bigcup_{p \in P} x_u^{p(c)}, \quad x_{u_1}^{p_1(c)} \cap x_{u_2}^{p_2(c)} = \emptyset, \quad (u_1 \neq u_2) \vee (p_1 \neq p_2). \quad (8)$$

Для определения свойств взаимосвязей данных среднего уровня множеств объектов $e^{(c)}$ (4) и множеств операций $x^{(c)}$ (8) за период t , $t \in \{t_l \in T, l = \overline{1, L}\}$, определим их свойства для каждой элементарной задачи.

Φ_1 – документ с номером $n_{s,u}^{(c)}$ учета обобщенных показателей множества операций $X(N_{s,u})$, которые находятся в отношении увеличения $r^{+(c)}$ к множеству объектов учета $E(N_{s,u})$ подвида u единственный;

Φ_2 – документы с номерами $n_{s+1,p}^{(c)}$ учета обобщенных показателей множеств операций $X(N_{s+1,p})$, которые находятся в отношении $r^{-(c)}$ уменьшения к множеству объектов учета $E(N_{s,u})$ в общем случае больше или равно 1:

$$\forall E_{s,u} \left(\exists ! n_{s,u}^{(c)} : x(n_{s,u}^{(c)}) r_s^{+(c)} e(n_{s,u}^{(c)}) \right) \wedge \left(\exists n_{s+1,p}^{(c)} : x(n_{s+1,p}^{(c)}) r_{s+1,p}^{-(c)} e(n_{s,u}^{(c)}) \right). \quad (9)$$

Следовательно, отношения соответствия данных множеств объектов учета (4) и операций (8) за период T одно-мнозначные. Формализуем данные отношения соответствия в виде графов $G_1^{(c)}$ (рис. 1) и $G_2^{(c)}$ (рис. 2) соответственно.

$$G_1^{(c)}(s, u) = (V_1^{(c)}(s, u), R_1^{(c)}(s, u)), \quad V_1^{(c)}(s, u) = (e_{s,u}^{(c)}, x_{s,u}^{(c)}, x_{s+1,1}^{(c)}, \dots, x_{s+1,p}^{(c)}), \\ R_1^{(c)}(s, u) = (r_s^+, r_s^-(n_{s,1}^{(c)}), \dots, r_s^-(n_{s,p}^{(c)})), \quad u \in U, \quad s = \overline{1, S}, \quad (10)$$

$$G_2^{(c)}(s,u) = (V_2^{(c)}(s,u), R_2^{(c)}(s,u)), \quad V_2^{(c)}(s,u) = (e_{s,u}^{(c)}, x_{s,u}^{(c)}, x_{s+1,1}^{(c)}, \dots, x_{s+1,P}^{(c)}, e_{s+1,1}^{(c)}, \dots, e_{s+1,P}^{(c)}),$$

$$R_2^{(c)}(s,u) = (r_s^-(n_{s,1}^{(c)}), \dots, r_s^-(n_{s,P}^{(c)}), r_{s+1}^-(n_{s+1,1}^{(c)}), \dots, r_{s+1}^-(n_{s+1,P}^{(c)})), \quad u \in U, \quad s = \overline{1, S}, \quad (11)$$

где $G_1^{(c)}$ – граф отношений соответствий данных задач первого вида,

$G_2^{(c)}$ – граф отношений соответствий данных задач второго вида,

V – множество вершин графа G , R – множество ребер графа G ,

e – вершина, характеризующая данные среднего уровня множества объектов учета,

s и $s+1$ – номера, характеризующие виды множеств объектов учета,

x – вершина, характеризующая данные среднего уровня множества операций,

$r^+(c)$ ($r^-(c)$) – ребро, характеризующее отношение соответствия данных множества операций к

увеличению (уменьшению) множества объектов учета,

p – количество подвидов операций и объектов учета,

$n^{(c)}$ – номер документа (подсистемы) среднего уровня, содержащего обобщенные показатели по документам первого уровня множества N .

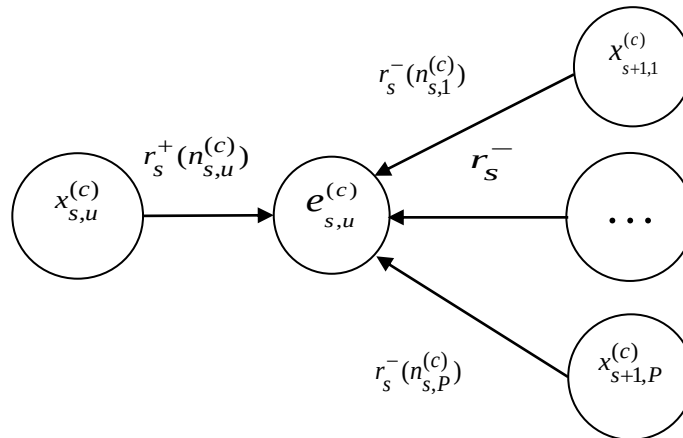


Рис. 1. Граф $G_1^{(c)}$ отношений соответствий данных задач первого вида для одного множества объектов учета

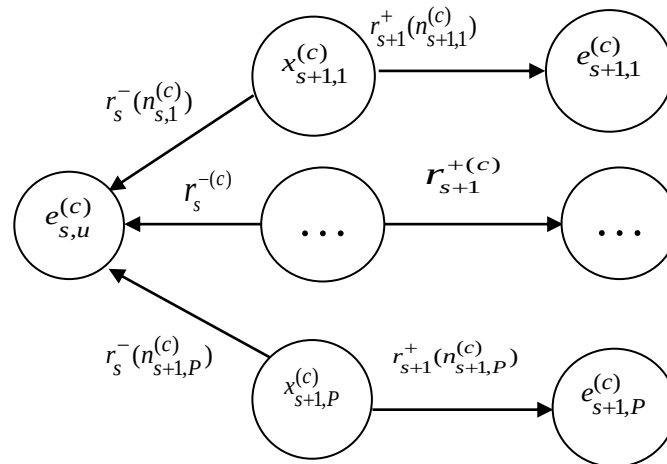


Рис. 2. Граф $G_2^{(c)}$ отношений соответствий данных задач второго вида для одного множества операций

Выделим функциональные особенности системы учета наборов задач соотношения между элементами, которые формализованы в виде графов $G_1^{(c)}$ и $G_2^{(c)}$ (рис. 1 и рис. 2) за период проверки.

$\Phi_1^{(c)}$ – учет данных каждой задачи за период T не выделяется в отдельную подсистему;

$\Phi_2^{(c)}$ – учет отношений соответствий $r^{(c)}$ множеств операций в документах среднего уровня в общем случае (для разных методик учета отпуска сырья (инвентарный, обратной калькуляции) и для всех видов сырья основных и вспомогательных материалов) осуществляется в ручном режиме или обобщаются за период T на основании значений нижнего уровня, которые учитываются в ручном режиме (из за разрыва во времени учета);

$\Phi_3^{(c)}$ – взаимосвязи между наборами переменных документов, между которыми существуют отношения соответствия $G_1^{(c)}$ и $G_2^{(c)}$ в процессе учета в общем случае автоматически не проверяются.

Из $\Phi_1^{(c)}$ следует, что задача проверки наборов задач не декомпозируется в автоматическом режиме на элементарные задачи.

Из $\Phi_2^{(c)}$ и $\Phi_3^{(c)}$ следует, что для выявления элементарных задач, в которых нарушены взаимосвязи переменных необходимо проводить анализ данных за весь период проверки

Постановка задач. Первая локальная подзадача – анализ данных с целью определения эквивалентных и неэквивалентных подмножеств при отображении данных среднего уровня множеств параллельно последовательных операций за период проверки T . Вторая локальная подзадача – анализ данных с целью определения эквивалентных и неэквивалентных подмножеств при отображении данных среднего уровня учета множеств объектов, которые преобразуются в результате множества параллельно последовательных операций за период проверки T .

Методика 1 локальной подзадачи реализуется в подсистемах аудита данных материальных расходов: «Производство полупродукта (цех 1)», «Производство (цех 2)», «Готовая продукция». Методика 2 локальной подзадачи реализуется в подсистемах аудита взаимосвязей между перечисленными подсистемами учета материальных расходов.

Выводы. Определены функциональные особенности учета данных задач среднего уровня, которые инвариантны относительно особенностей предприятия. Это позволило определить, что прямое отображение данных задач среднего уровня многозначно, а обратное однозначно. Установлено, что проверка предпосылки не декомпозируется в автоматическом режиме на решение элементарных задач по каждому множеству объектов и операций.

Выполнена постановка задач автоматизированного анализа данных в подсистеме аудита предпосылки, которые инвариантны относительно особенностей предприятия. Это позволяет перейти к созданию инструментария анализа данных, результаты которого станут основой для формирования рекомендуемых решений в ИТ СППР аудита.

Литература

1. Xinli Hu. Effectiveness of information technology in reducing corruption in China Electronic Library, 2015 Vol. 33. Issue 1. P. 52–64, doi: 10.1108 / el-11-2012-0148.
2. Ивахненко С. В. Информационные технологии аудита и внутрихозяйственного контроля в контексте мировой интеграции : монография / Ивахненко С. В. – Житомир : ЧП «Рута», 2010. – 432 с.
3. Kirkos E., Spathis C., Manolopoulos Y. Data mining techniques for the detection of fraudulent financial statement. Expert Syst. Appl., 2007. Vol. 32. Issue 4. p. 995–1003.9. doi:10.1016/j.eswa.2006.02.016.
4. Dai J., Vasarhelyi M. A. Imagineering Audit 4.0. Journal of Emerging Technologies in Accounting, 2016. № 13(1). P. 1–15.
5. Яремко С.А. Дослідження проблем впровадження сучасних інформаційних систем аудиту в контрольно-ревізійній діяльності / С.А. Яремко, В.В. Коваленко // Комп'ютерно-інтегровані технології освіта наука виробництво. – Луцьк, 2014. – № 14 – С. 179–182.
6. West J., Bhattacharya M. and Islam R. Intelligent Financial Fraud Detection Practices: a comprehensive review. Computers & Security, 2016. Vol. 57. P. 47–66. doi: 10.1007 / 978-3-319-23802-9_16
7. Lin Chi-Chen, Chiu An-An, Yan Huang Shaio, C. Yen. David. Detecting the financial statement fraud: The analysis of the differences between data mining techniques and experts' judgments. Knowledge-Based Systems, 2015. № 89. P. 459–470; doi : 10.1016 / j.knosys.2015.08.011.
8. Бююль А. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / Бююль А., Цёфель П. ; пер. с нем. – СПб : ДиаСофтЮП, 2005. – 608 с.
9. Zgurovsky M.Z., Zaychenko Y.P.: The fundamentals of computational intelligence: system approach. Springer International Publishing Switzerland. 2017. 356 p.
10. Hu Z., Bodyanskiy Y. Tyshchenko O. Self-Learning and adaptive algorithms for business applications. Emerald Publishing Limited. 2019. 382 p. doi: 10.1108/978-1-83867-171-620191001
11. Нескородева Т.В. Постановка задач подсистемы аудита предпосылки среднего уровня ИТ СППР / Тетяна Нескородева // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2020. – № 2. – С. 38–48. doi: 10.24025/2306-4412.2.2020.194985.

References

1. Xinli Hu. Effectiveness of information technology in reducing corruption in China Electronic Library, 2015 Vol. 33. Issue 1. P. 52–64, doi: 10.1108 / el-11-2012-0148.
2. Ivahnenkov S. V. Informacionnye tehnologii audita i vnutrihozyajstvennogo kontrolya v kontekste mirovoj integracii : monografiya / Ivahnenkov S. V. – Zhitomir : ChP «Ruta», 2010. – 432 s.
3. Kirkos E., Spathis C., Manolopoulos Y. Data mining techniques for the detection of fraudulent financial statement. Expert Syst. Appl., 2007. Vol. 32. Issue 4. p. 995–1003.9. doi:10.1016/j.eswa.2006.02.016.
4. Dai J., Vasarhelyi M. A. Imagineering Audit 4.0. Journal of Emerging Technologies in Accounting, 2016. № 13(1). P. 1–15.
5. Iaremko S.A. Doslidzhennia problem vprovadzhennia suchasnykh informatsiinykh system audytu v kontrolno-reviziiinii diialnosti / S.A. Yaremko, V.V. Kovalenko // Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii osvita nauka vyrobnytstvo. – Lutsk, 2014. – № 14 – S. 179–182.
6. West J., Bhattacharya M. and Islam R. Intelligent Financial Fraud Detection Practices: a comprehensive review. Computers & Security, 2016. Vol. 57. P. 47–66. doi: 10.1007 / 978-3-319-23802-9_16

-
7. Lin Chi-Chen, Chiu An-An, Yan Huang Shaio, C. Yen. David. Detecting the financial statement fraud: The analysis of the differences between data mining techniques and experts' judgments. *Knowledge-Based Systems*, 2015. № 89. P. 459–470: doi : 10.1016/j.knosys.2015.08.011.
8. Byuyul A. SPSS: Iskustvo obrabotki informacii. Analiz statisticheskikh dannyh i vosstanovlenie skrytyh zakonomernostej / Byuyul A., Cyofel P. ; per. s nem. – SPb : DiaSoftYuP, 2005. – 608 s.
9. Zgurovsky M.Z., Zaychenko Y.P.: The fundamentals of computational intelligence: system approach. Springer International Publishing Switzerland. 2017. 356 p.
10. Hu Z., Bodyanskiy Y. Tyshchenko O. Self-Learning and adaptive algorithms for business applications. Emerald Publishing Limited. 2019. 382 p. doi: 10.1108/978-1-83867-171-620191001
11. Neskorocheva T.B. Postanovka zadach podsistemy audita predposylki srednego urovnya IT SPPR / Tetyana Neskorocheva // Visnik Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. – 2020. – № 2. – S. 38–48. doi: 10.24025/2306-4412.2.2020.194985.

Надійшла / Paper received: 17.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 02.06.2020

УДК 621.514

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-16

М. М. КОСІЮК, А. М. КОСІЮК, В. С. КРАВЧУК

Хмельницький національний університет

МОДУЛЬНА ОБОРОТНА МАШИНА ОБ'ЄМНОГО ВИТІСНЕННЯ

Розглянуто питання розробки кінематичних схем і конструкцій нових машин і механізмів. Аналіз патентної активності за останні роки свідчить про зростання уваги конструкторів до розробки машин об'ємного витіснення різного призначення. Авторами розроблена модульна машина об'ємного витіснення з використанням оригінальної конструкції перетворювача обертового руху в коливальний рух і навпаки. Перетворювач руху може виконувати різні функції, зокрема, як виконавчий механізм двигунів, компресорів і насосів. Його використання дозволяє створити уніфікований ряд модульних конструкцій машин об'ємного витіснення, суттєво знизити їх вартість і отримати значний економічний ефект.

Ключові слова: кінематичні схеми, машини об'ємного витіснення, перетворювач руху, двигуни, компресори, насоси.

M. KOSIYUK, A. KOSIYUK V. KRAVCHUK

Khmelnytskyi National University

MODULAR VOLUME PRESSURE MACHINE

Currently widely used volumetric displacement machines (MOV), which include thermal machines (internal combustion, with external heat supply, steam); hydraulic and pneumatic engines; pumps; compressors, etc. They contain at least one working body mounted in a housing with the possibility of translational (oscillating) motion, and a direction converter capable of receiving or rotating the input shaft with its transformation into translational (oscillating) motion of the working body or translational (oscillating) motion of the working body with transformation its in the rotational motion of the output shaft. The development of kinematic schemes and constructions of new languages is an extremely urgent task.

The issues of development of kinematic diagrams and structures of new machines and mechanisms are contemplated. The analysis of patent activity in recent years displays an increase in attention of designers to the development of volume displacement machines of various purposes. The authors developed the volume displacement machine, using the original design of the converter of rotation motion into oscillatory motion and vice versa. Its uniqueness lies in the fact that symmetry axes of all parts that rotate and move intersect only at one point, at the same time there is no need to balance inertial masses, there is no vibration and high characteristics are achieved with reliability and service life. The motion converter can perform various functions, in particular, as an actuator of motors, compressors, pumps and allows to make a technological breakthrough in the sphere of creation of volume displacement machines. Using the suggested design solutions makes it possible to develop a unified number of modular machines of large displacement with oscillating movement of the working element, significantly reduce their cost and obtain a significant economic effect.

Key words: kinematic schemes, volume displacement machines, the converter of the motion, engines, compressors, pumps.

Вступ. В теперішній час отримали широке застосування машини об'ємного витіснення (МОВ), до яких відносять теплові машини (внутрішнього згоряння, з зовнішнім підведенням теплоти, парові); гідравлічні і пневматичні двигуни; насоси; компресори та ін. Вони містять щонайменше один робочий орган, встановлений у корпусі з можливістю поступального (коливального) руху, і перетворювач напрямку руху, здатний сприймати або обертання вхідного вала з перетворенням його в поступальний (коливальний) рух робочого органу або поступальний (коливальний) рух робочого органу з перетворенням його в обертовий рух вихідного вала. Розробка кінематичних схем і конструкцій нових МОВ є надзвичайно актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перетворювачами напрямку руху для поршневих МОВ зазвичай служать кривошипно-шатунні механізми (КШМ). Практика показала, що ці механізми мають суттєві недоліки, подолати які неможливо в принципі. Мається на увазі принципова неможливість рівноваження шатуну і створення шатуном радіальної складової сили інерції, яка, до того ж, постійно змінює свій напрямок на протилежний. Обидва ці недоліки негативно впливають на динамічні характеристики і знижують ресурс роботи КШМ [1, 2].

Аналіз патентної активності за останні роки свідчить про зростання уваги конструкторів до розробки МОВ різного призначення і про перспективність подальших науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у цій сфері [3, 4]. Актуальним є питання розробки і проектування роторно-лопатевих машин. Це пов'язано з наявністю у машин даного типу істотних переваг у порівнянні з шатунно-поршневою конструкцією: менша кількість деталей; компактність (відношення еквівалентного робочого об'єму до об'єму машини); відсутність складних деталей, таких як колінчастий і розподільний вали; технологічна для виготовлення форма корпусу; мінімальний рівень вібрації за рахунок симетричності конструкції; менші механічні втрати на тертя.

Відома МОВ на основі перетворювача напрямку руху у вигляді сферичного кривошипно-повзунного механізму, в якому геометричні осі обертання всіх ланок перетинаються в одній центральній точці [5, 6]. Однак введення перетворювачів напрямку руху усередину корпусів МОВ утрудняє їх виготовлення, складання і ремонт, зменшує корисний об'єм, виключає можливість надійного ущільнення перемінних робочих об'ємів, що відтинаються коливальними лопатями, і, відповідно, негативно позначається на ККД.

Мета статті полягає в узагальненні результатів роботи зі створення роторно лопатевих машин з коливальним рухом робочих органів, які дозволять здійснити технологічний прорив у сфері МОВ.

Виклад основного матеріалу. Авторами розроблено конструкцію модульної оборотної МОВ з коливальним рухом робочих органів, перетворювач руху якої надійно і з високим ККД перетворює обертальний рух у коливальний чи навпаки. Перетворювач руху, виконаний як окремий модуль, може виконувати різні функції, зокрема, як виконавчий механізм двигунів, компресорів і насосів, сприяє створенню машин з поліпшеними експлуатаційними якостями, зручною компоновкою, кращими властивостями щодо вібрації, врівноваженості, частотного спектру і розширеними функціональними можливостями.

Суть розробки пояснена докладним описом конструкції модульної оборотної МОВ з коливальним рухом робочих органів і описом її роботи з посиланнями на креслення (рис. 1, рис. 2).

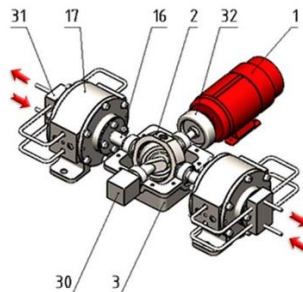


Рис. 1. Просторова схема модульної оборотної МОВ з коливальним рухом робочих органів

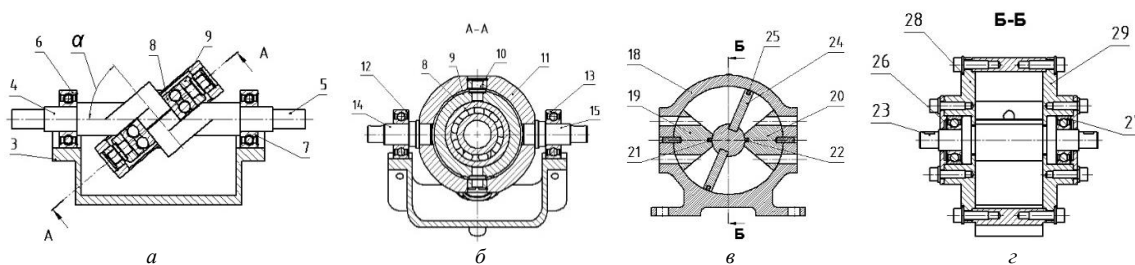


Рис. 2. Конструктивні схеми перетворювача руху і лопатевого пристрою:

а – поздовжній розріз перетворювача руху по ротору з кривошипом; *б* – поперечний розріз А-А перетворювача руху; *в* – поперечний розріз лопатевого пристрою; *г* – розріз Б-Б лопатевого пристрою

МОВ з коливальним рухом робочих органів виконана модульною і містить, двигун або пристрій відбору потужності, наприклад електричний генератор 1, кінематично з'єднаний з перетворювачем руху 2, в корпусі 3 (верхня частина корпусу і кришки підшипникового вузла не показані) якого встановлено ротор, що включає в себе два вали 4 і 5 з прямолінійними кінцевими і робочим ділянками, які мають при поєднанні Z-подібну форму, причому ротор встановлено у протилежних співвісних підшипниках 6 і 7, центр симетрії середньої частини Z-подібної робочої ділянки ротора збігається з його віссю обертання, кут α між поздовжніми осями кінцевих ділянок і середньою частиною Z-подібної робочої ділянки перевищує 0° , але менший 90° , а кінематичний і силовий зв'язок здійснюється через підшипник 8, внутрішнє кільце якого закріплено на Z-подібній робочій ділянці, повзуна 9, виконаного на основі зовнішнього кільця зазначеного підшипника, щонайменше, одного підшипникового вузла 10, що забезпечує зв'язок між повзуном 9 і коливальною кінематичною ланкою, виконаною у вигляді обойми 11, яка з безперервним зазором вільно охоплює повзун 9, встановлена у корпусі 3 в двох протилежних співвісних підшипниках 12 і 13 так, що їх спільна геометрична вісь перпендикулярна геометричній осі ротора і жорстко зв'язана з встановленими в зазначених підшипниках двома валами 14 і 15, які виступають за межі корпусу 3 перетворювача руху 2 з його протилежних сторін, причому щонайменше один із них кінематично зв'язаний муфтою 16 з лопатевим пристроєм 17, що має корпус 18, внутрішня поверхня якого виконана циліндричною або сферичною (тороїдальною), розділений на герметичні робочі порожнини, розташованими симетрично один проти одного, знімними радіальними виступами 19 і 20, що містять ущільнення 21 і 22, вал 23 із закріпленою на ньому двостулковою лопаттю 24, яка містить ущільнення 25 і має в поперечному січенні форму внутрішньої поверхні корпусу 18, причому вал 23 з підшипниками 26 і 27, установленими в торцевих кришках 28 і 29 корпусу 18, виконаний з можливістю здійснення обертально-коливального руху відносно корпусу 18 на кут рівний куту коливання обойми 11 перетворювача руху 2, а орган керування 30 клапанно-розподільною системою 31 подачі рідини і/або газу, має кінематичний зв'язок з ротором перетворювача руху 2, який оснащений щонайменше одним маховиком 32.

Унікальність перетворювача руху полягає в тому, що осі симетрії всіх деталей, які обертаються і рухаються, перетинаються лише в одній точці, при цьому немає потреби у балансуванні інерційних мас, відсутня вібрація, досягаються високі характеристики з надійності та ресурсу роботи.

Працює МОВ з коливальним рухом робочих органів таким чином. Якщо вхідною кінематичною ланкою є ротор перетворювача руху 2, то двигун 1 обертає цей ротор у підшипниках 6 і 7, площина симетрії

його Z-подібної робочої ділянки і, відповідно, зовнішнє кільце підшипника 8 циклічно змінюють своє просторове положення щодо геометричної осі ротора і змушують повзун 9 робити зворотно-обертальний рух. Повзун 9 через підшипниковий вузол 10 штовхає обойму 11, змушуючи робити коливальний рух відносно осі підшипникового вузла 10. Коливаючись, обойма 11 приводить у зворотно-обертальний рух встановлені у підшипниках 12 і 13 вали 14 і 15, які мають кінематичний зв'язок з валом 23 лопатевого пристрою 17. Якщо ж ротор перетворювача руху 2 є вихідною кінематичною ланкою, поєднаною з пристроєм відбору потужності (генератором) 1, а на вході є працюючий, як двигун, щонайменше один лопатевий пристрій 17, то процес протікає в зворотному порядку.

Лопатевий пристрій 17 може виготовлятися у вигляді роторно-лопатевого модуля різного призначення, а саме двигуна внутрішнього згоряння, двигуна із зовнішнім підведенням теплоти, вакуумного насоса, компресора, нагнітача повітря і/або різних газів, пневмо- і гідроприводу, для об'ємного перекачування рідин, наприклад, в технологічних лініях для мірного наповнення обсягу(ів). Оскільки перетворювач руху виконується окремим модулем і перетворення напрямку руху здійснюється поза корпусом лопатевого пристрою, тому робочий об'єм роторно-лопатевого модуля використовується повністю. Це дозволяє виготовляти високопродуктивні і надійні оборотні МОВ з коливальним рухом робочих органів.

Функціональна можливість МОВ працювати у якості двигуна внутрішнього згоряння досягається тим, що вона додатково оснащується синхронізованими, дистанційно-керованими клапанно-розподільними системами змащення, подачі рідкого і/або газоподібного палива в режимі внутрішнього і/або зовнішнього сумішоутворення та його запалювання, причому корпус роторно-лопатевого модуля забезпечується кожухом сорочки охолодження, а в тілі радіальних виступів, валу і закріпленій на ньому лопаті виконуються порожнини для циркуляції охолоджуючої рідини.

МОВ здатна працювати в якості холодильних машин, наприклад, на такому загальнодоступному холодоагенті, як повітря. Її можна застосовувати в складі переважно промислових морозильників для тривалого збереження швидкопсувних продуктів харчування, або в складі автомобільних, залізничних і корабельних рефрижераторів, а також в якості двигунів зовнішнього згоряння із замкнутим циклом робочого тіла, наприклад, по циклу Стірлінга.

В перетворювачі руху, кривошип кінематично може бути пов'язаний з коливальною кінематичною ланкою не тільки через підшипник ковзання, а і підшипник котіння, зовнішнє кільце якого служить повзуном. Тому оборотний перетворювач напрямку руху на основі такого механізму істотно надійніший і має більш високий ККД у порівнянні з рівнем техніки. Крім того, обойма жорстко зв'язана з двома додатковими співвісними валами, що виступають за межі корпусу перетворювача руху з його протилежних сторін. Це дозволяє опозитно підключати до обойми, наприклад, два поворотних пневмо- чи гідроциліндри з синфазно розташованими лопатями або двигуни зовнішнього чи внутрішнього згоряння.

Модульне виконання конструкцій МОВ сприяє їх уніфікації, істотно спрощує виготовлення, технічне обслуговування і ремонт. Як приклад, можливих конструктивних рішень, на рис. 3 зображені різні компоновки модульних конструкцій компресорів.

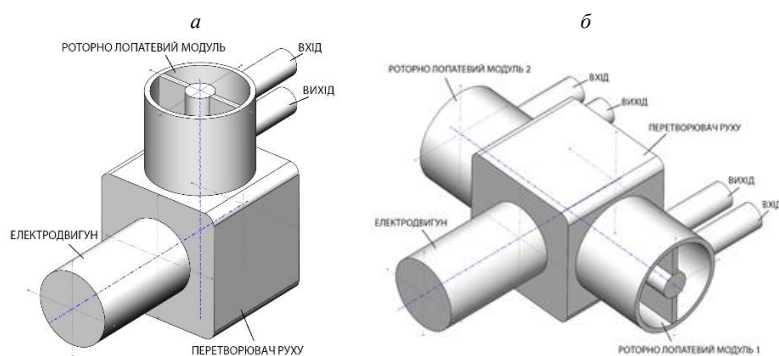


Рис. 3. Різні компоновки модульних конструкцій компресорів:
а – з одним роторно-лопатевим модулем; б – з двома роторно-лопатевими модулями

Ротор перетворювача руху має кінематичний зв'язок із органом керування клапанно-розподільною системою і оснащений маховиком. Це забезпечує виконання алгоритму функціонування машини і стабілізує обертання ротора незалежно від того, чи він є ведучою кінематичною ланкою для приводу лопатей поворотних пневмо- або гідроциліндрів, що працюють, відповідно, як компресори чи насоси, чи він є валом відбору потужності від таких машин, що працюють відповідно як двигуни.

Вирішення проблеми ущільнення рухових частин роторно-лопатевого модуля, організації та реалізації термодинамічного циклу найбільш повно відповідає виконання внутрішньої поверхні його корпусу циліндричною або сферичною (тороїдальною). Герметизація замкнутих обсягів роторно-лопатевого модуля забезпечується за рахунок точності виготовлення деталей і установки лабіринтових або інших ущільнень. Види контактів та ущільнень у різних МОВ зображені на рис. 4. Т-подібна форма січення лопаті різко збільшує її жорсткість і площу контакту, що забезпечує надійність ущільнення робочих камер роторно-лопатевого модуля різного призначення.

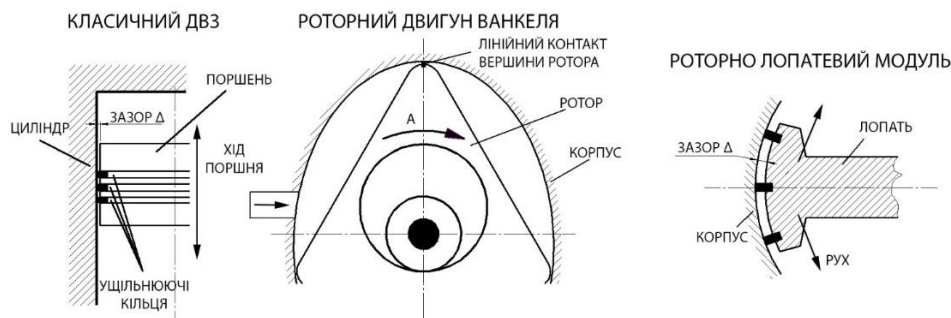


Рис. 4. Види контактів та ущільнень у МОВ

МОВ з коливальним рухом робочих органів можна виготовляти з використанням відомих у промисловості матеріалів, устаткування та інструментів. Природно, що при виборі конкретних форм практичного здійснення можливі довільні комбінації зазначених додаткових відмінностей з основним задумом, який може бути доповнений і/або уточнений з використанням звичайних знань фахівців.

Завдяки своїй компактності, зрівноваженості, максимальному літражу при обмежених розмірах корпусу роторно-лопатевого модуля, великій індикаторній потужності і високому тепловому коефіцієнту корисної дії МОВ з коливальним рухом робочих органів може знайти широке застосування на спеціальних машинах, де потрібні потужні і економічні силові агрегати невеликих розмірів.

Висновок. Розглянуті питання розробки кінематичних схем і конструкцій МОВ. Запропонована модульна МОВ з використанням оригінальної конструкції перетворювача обертового руху в коливальний рух і навпаки. Його використання дозволяє створити уніфікований ряд модульних конструкцій МОВ, суттєво знизити їх вартість і отримати значний економічний ефект. Роботу планується продовжити у напрямку оптимізаційного синтезу функціонально-модульної структури МОВ, що важливо для їх практичного використання.

Література

1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике: пособие для инженеров, конструкторов и изобретателей : в 7 т. / Артоболевский И.И. – М. : Наука, 1979–1981.
2. Автомобильные двигатели : учебник для студ. высш. учеб. заведений / [М.Г. Шатров, К.А. Морозов, И.В. Алексеев и др.] ; под ред. М.Г. Шатрова. – 2-е изд., испр. – М. : Академия, 2011. – 464 с.
3. Гринёв Д.В. Конструктивные схемы и принципы работы роторно-лопастных машин / Д.В. Гринёв // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономика. Право. Управление. – 2014. – № 5. – С. 142–150.
4. Отений Я.Н. Роторно-лопастной двигатель с качающимися лопастями / Я.Н. Отений, А.Э. Вирт // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9. – Ч. 3. – С. 449–451.
5. Пат. 2133833 RU. МПК F01C 9/00, F01C 3/06, F04C 9/00, F16H 21/52. Обратимый преобразователь направления движения и машина объёмного вытеснения на его основе / Бельдij Н.Н., Бельдij В.Н. – 27.07.1999.
6. Косіюк М.М. Кінематичний аналіз сферичного кривошипно-повзунного механізму / М.М. Косіюк, В.С. Кравчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 6. – С. 7–11.

References

1. Artobolevskij I. I. Mehanizmy v sovremennoj tehnikе: posobie dlya inzhenerov, konstruktorov i izobretatelej : v 7 t. / Artobolevskij I. I. – M. : Nauka, 1979–1981.
2. Avtomobilnye dvigateli : uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij / [M.G. Shatrov, K.A. Morozov, I.V. Alekseev i dr.] ; pod red. M.G. Shatrova. – 2-e izd., ispr. – M. : Izdatelskij centr «Akademiya», 2011. – 464 s.
3. Grinyov D. V. Konstrukтивnye shemy i principy raboty rotorno-lopastnyh mashin / D. V. Grinyov // Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Pravo. Upravlenie. – 2014. – № 5. – S. 142–150.
4. Otenij Ya.N. Rotorno-lopastnoj dvigatel s kachayushimisya lopastyami / Ya.N. Otenij, A.E. Virt // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. – 2015. – № 9. – Chast 3. – S. 449–451.
5. Pat. 2133833 RU. MPK F01C 9/00, F01C 3/06, F04C 9/00, F16H 21/52. Obratimyj preobrazovatel napravleniya dvizheniya i mashina obemnogo vytesneniya na ego osnove / Beldij N.N., Beldij V.N. – 27.07.1999.
6. Kosiuk M.M. Kinematichnyi analiz sferichnoho kryvoshypno-povzunnoho mekhanizmu / M.M. Kosiuk, V.S. Kravchuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2019. – № 6. – S. 7–11.

Надійшла / Paper received: 12.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 03.06.2020

УДК 621.7

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-17

І. Ю. КИРИЦЯ

Вінницький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ ПРИ ПРОНИКНЕННІ ІНДЕНТОРА В ПЛАСТИЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

В роботі запропоновано визначення енергетичних витрат при проникненні індентора в пластичне середовище (броньовану сталь). Наведено приклад розрахунку енергетичних витрат при проникненні твердого індентора (кулі) через пластину певної товщини з броньованої сталі марки 45Х2НМФА.

Уточнено розрахунок коефіцієнту опору середовища броньованих сталей та отримано залежність, яка враховує падіння швидкості руху індентора в середовищі, що зміцнюється.

Базуючись на підходах наведених в феноменологічній теорії деформування запропоновано визначення деяких характеристик напружено-деформованого стану як в статичних так і динамічних умовах.

Використовуючи функції (крива течії, діаграма пластичності), що формують технологічний паспорт матеріалу та враховуючи зміцнення матеріалу визначено питому потенціальну та енергію деформування.

Використовуючи залежності отримані в даній роботі розробники на стадії проектування зможуть надавати рекомендації при побудові технологічних процесів виготовлення елементів та конструкцій бронезахисту належної якості.

Ключові слова: теорія деформування, енергетичні витрати, енергія деформування, питома потенціальна енергія деформування, броньована сталь.

I. KYRYTSYA

Vinnytsia national technical University

DETERMINATION OF ENERGY COSTS WHEN THE INDENTOR PENETRATES IN A PLASTIC MEDIUM

In this paper the determination of energy costs during the penetration of the indenter into the plastic medium (armored steel) is proposed. An example of calculation of energy costs during the penetration of a solid indenter (bullet) through a plate of a certain thickness of armored steel grade 45H2NMFBA is presented.

The calculation of the resistance factor of the medium of the armored steels is refined and the dependence which takes into account falling of speed of movement of an indenter in the strengthened medium is received.

Based on the approaches presented in the phenomenological theory of deformability, it is proposed to determine some characteristics of the stress- determination state in both static and dynamic conditions.

Using the functions (flow curve, plasticity diagram) that form the technological passport of the material and taking into account the strengthening of the material, the specific potential and deformation energy are determined.

Using the dependences obtained in this work, the developers at the design stage will be able to provide recommendations for the construction of technological processes for the manufacture of elements and structures of armor of proper quality.

Keywords: deformability theory, energy costs, deformation energy, specific potential deformation energy, armored steel.

Феноменологічна теорія деформування металів, дає можливість знаходження ступеня деформації (накопиченої до моменту руйнування інтенсивності деформації) в умовах складного немонотонного деформування і дозволяє оцінювати граничну формозміну заготовок оброблюваних тиском, а також знаходити енергію деформування в задачах технічних експертиз.

Визначення енергетичних витрат або ж енергії деформування і руйнування засобів в умовах динамічних навантажень, полягає в оцінці напружено-деформованого стану на кожній стадії обробки тиском і на подальших етапах динамічного деформування.

При визначенні енергії пластичного деформування найбільш доступною для застосування є методика оцінки питомої потенційної енергії деформування елементів конструкцій методом твердості, яка враховує вплив пластичного деформування у процесі виготовлення елементу.

Визначення енергії пластичного деформування значно ускладнюється у випадку руйнування досліджуваних елементів конструкції, коли неможливо виміряти твердість безпосередньо зруйнованого металу.

Визначення енергії пластично деформованих тіл базується на принципах феноменологічної теорії деформування металів [1]. Для визначення енергії необхідно мати у своєму розпорядженні механічні характеристики матеріалу пошкоджених елементів у вигляді спеціальних функцій, які формують технологічний паспорт матеріалу, серед яких – крива течії та діаграма пластичності. Зазначені функції були отримані та апроксимовані в роботі [2].

В роботах [1, 3–5] розроблений алгоритм розрахунку енергії пластичного деформування, що дозволяє визначати енергію пластичного деформування як у технологічних процесах обробки металів тиском, так і при деформуванні конструкцій в результаті ударів о перешкоди.

Метою роботи є визначення енергетичних витрат, а саме питомої потенційної та енергії деформування при проникненні індентора в броньовану сталь (як в статичних так і динамічних умовах) та уточнення розрахунку коефіцієнту опору середовища броньованих сталей, а також отримання залежностей, які дозволять в подальшому надавати рекомендації при побудові технологічних процесів виготовлення елементів (конструкцій) бронезахисту.

Розглянемо алгоритм розрахунку енергетичних витрат на проникнення індентора в середовище, що пластично деформується. Слідуючи роботі [1], в якій розроблено феноменологічний підхід для визначення

енергії деформування, витраченої на деформацію і руйнування транспортних засобів, питому потенційну енергію визначають інтегруванням функції зміцнення металів, де верхня межа інтеграла може бути визначена експериментально.

Використаємо цей підхід до вирішення задачі для визначення коефіцієнта опору середовища при проникненні в нього твердого індентора.

В роботі [2] сформовано карту матеріалу для броньованої сталі марки 45Х2НМФА, що враховує ізотропне зміцнення, яка включає криву течії в координатах «інтенсивність напружень σ_u , інтенсивність деформацій e_u » і діаграму пластичності в координатах «граничний ступінь накопиченої інтенсивності деформацій до моменту руйнування e_p , показник напруженого стану η ».

Крива течії, яка не залежить від виду напруженого стану в координатах σ_u – інтенсивність напружень

$$\sigma_u = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2} \quad (1)$$

та e_u – інтенсивність деформацій

$$e_u = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2}, \quad (2)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження,

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – головні деформації.

Як зазначалось, з метою використання кривої течії в розрахунках, її представляють у вигляді степеневі функції

$$\sigma_u = A e_u^n, \quad (3)$$

але при динамічних навантаженнях швидкість деформацій впливає на здатність матеріалів до зміцнення.

Використовуючи модель матеріалу, чутливу до різних швидкостей деформування, розроблену в роботі [1], наведемо формулу, що апроксимує криву течії в умовах прояву швидкісного ефекту:

$$\sigma_u = A_v e_u^{n_v}, \quad (4)$$

де A_v і n_v відповідно дорівнюють

$$A_v = A \left[1.045 + \frac{\ln(0.0027 + \varepsilon_u)}{135} \right] \quad (5)$$

$$n_v = n \exp[-0.1273 \ln(1 + \varepsilon_u)]. \quad (6)$$

В формулах (4), (5) і (6) A_v – коефіцієнт апроксимації кривої течії, що враховує вплив швидкості деформування, ε_u – швидкість інтенсивності деформацій, n_v – показник степені, що враховує вплив швидкості деформування.

Питома потенціальна енергія деформування отримується шляхом інтегрування виразу:

$$W_{num} = \int_0^{e_u^*} \sigma_u de_u, \quad (7)$$

Після підстановки (4) в (7), отримаємо:

$$W_{num} = \int_0^{e_u^*} A e_u^n de_u = A \int_0^{e_u^*} e_u^n de_u = \frac{A e_u^{n+1}}{n+1}. \quad (8)$$

Енергія деформування визначається за формулою:

$$W_{def} = W_{num} V_{def}, \quad (9)$$

де V_{def} – об'єм охоплений пластичною деформацією визначається за формулою

$$V_{def} = \frac{\pi d_i^2}{4} h_i, \quad (10)$$

d_i – поточний діаметр пластичної хвилі;

h_i – поточна товщина пластини.

Тоді

$$W_{def} = W_{num} \frac{\pi d_i^2}{4} h_i. \quad (11)$$

Для визначення коефіцієнта опору середовища броньованих сталей врахуємо, що на індентор (кулю, снаряд), що рухається в броньованій сталі діє сила опору, яка пропорційна швидкості ($R = k \dot{x}$), а також базуючись на принципах запропонованих в роботі [1] справедливим буде запис:

$$R = k \dot{x} = \frac{W_{def}}{h_i} \quad (12)$$

Таким чином, коефіцієнт опору середовища броньованих сталей визначається:

$$k = \frac{W_{def}}{h_i \dot{x}} = \frac{W_{def}}{h_i v_{def}} \quad (13)$$

де v_{def} – швидкість проходження індентора (від v_0 до v_1) в середовищі, що змінюється.

Падіння швидкості руху індентора в середовищі (броньована сталь), що змінюється визначимо за формулою

$$v_{def} = v_0 \exp\left(\frac{h_i}{h_0} \ln \frac{v_0}{v_1}\right) \quad (14)$$

Наведемо приклад розрахунку енергетичних витрат при проникненні твердого індентора (кулі калібру 7,62 мм автомата АКМ) через пластину товщиною $h = 5,5$ мм з бронебійної сталі [6], у якої наступні механічні характеристики: $\sigma_b = 1700$ МПа, $\sigma_{0,2} = 1550$ МПа, показник степені у формулі (3.3) $n = 0,23$, коефіцієнт зміцнення $A = 2893$ МПа, швидкість кулі $v_0 = 700$ м/с, $\dot{\epsilon}_u = 7825$ с⁻¹.

Розрахунок коефіцієнтів A_v і n_v за формулами (5) і (6) відповідно дає $A_v = 3215$ МПа і $n_v = 0,0783$.

В статичних умовах при деформації, наприклад, $e_u = 0,6$, інтенсивність напружень $\sigma_u = 2572$ МПа, а в динамічних $\sigma_u = 3089$ МПа. Отже, в динамічних умовах при $e_u = 0,6$, σ_u зростає в 1,2 рази, а питома потенційна енергія (W_{num}) в 1,15 рази.

Об'єм, охоплений пластичною деформацією, визначимо приймаючи об'єм $V_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} h_0$ плюс об'єм зміцненої зони (пластичної хвилі).

Слідуючи роботі [7] при впровадженні сферичного наконечника в пластичне середовище:

$$d_i = d_0 + \frac{d_0}{2} \quad (15)$$

В нашому випадку d_0 – діаметр індентора (кулі), $d_0 = 7,62$ мм, відповідно

$$d_i = 7,62 + \frac{7,62}{2} = 11,43 \text{ мм} = 1,143 \text{ см}.$$

При обчисленні питомої енергії за формулою (8), необхідно знати величину деформації, при якій сталося руйнування металу в умовах зсуву з накладенням гідростатичного тиску.

В роботі [8] наведено експериментальні результати оцінки граничних деформацій, що залежать від безрозмірних показників напруженого стану

$$\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_u} \quad (16)$$

При впровадженні індентора в пластичне середовище найбільше значення в момент руйнування показник $\eta = -1,73$ [8].

Використовуючи апроксимацію діаграм пластичності, наведену в роботі [2], для броньованої сталі в нашому випадку $e_p(\eta = -1) = 1$ – стиск, $e_p(\eta = 0) = 0,65$ – зсув, $e_p(\eta = 1) = 0,65$ – розтяг, $\lambda = 0,431$, тоді $e_p = 1,37$. Підставив $e_p = 1,37$ у формулу (8) отримаємо $W_{num} = 4187$ МПа.

Енергію деформування розраховуємо за формулою (11), причому h_i визначається з умови постійності об'єму $V_0 = V_{def}$ або

$$\frac{\pi d_0^2}{4} h_0 = \frac{\pi d_i^2}{4} h_i \quad (17)$$

звідки

$$h_i = \frac{d_0^2 \cdot h_0}{d_i^2} = \frac{7,62 \cdot 5,5}{11,34} = 2,44 \text{ мм} = 0,244 \text{ см} . \quad (18)$$

Тоді

$$V_{\text{def}} = \frac{\pi d_i^2}{4} h_i = \frac{\pi \cdot 11,43^2}{4} \cdot 2,44 = 250 \text{ мм}^3 = 0,25 \text{ см}^3 . \quad (19)$$

Енергія деформування:

$$W_{\text{def}} = W_{\text{num}} V_{\text{def}} = 4187 \cdot 0,25 = 1046,75 \text{ Дж} . \quad (20)$$

При конструюванні і виготовленні сучасних броньованих елементів захисту актуальним постає питання створення найбільш безпечних засобів, які при експлуатації, наприклад, в результаті потрапляння кулі або снаряду в броньований елемент (бронешилети, броньові пластини для бронетехніки) забезпечать максимальний захист людині.

Безпека конструкцій може бути досягнута і створенням конструкцій, міцність і жорсткість яких керована і прогнозована на стадії проектування і виготовлення. Керованість міцності і жорсткості елементів конструкції забезпечується параметрами процесів обробки тиском і вибором технологій, які забезпечують сприятливу технологічну спадковість – залишкові напруження, деформаційне зміцнення і його напрям, твердість деформованого металу, градієнт деформацій і інші чинники. Перераховані параметри технології створюють «пам'ять матеріалу», яка забезпечує керованість міцністю і жорсткістю елементів конструкції. При створенні цього алгоритму розрахунку технологічних параметрів виготовлення елементів захисних конструкцій необхідно знати енергетичні витрати, які очікуються при динамічних навантаженнях у різних напрямках.

Питання визначення енергії пластичного деформування в технологічних процесах обробки металів тиском, пов'язаних з формозміною матеріалу, важливе і актуальне. Його вирішення дає змогу розраховувати енерговитрати обладнання на процеси пластичного деформування. За відомими геометричними розмірами деталі, що виготовляється, можливо також визначити зусилля деформування. Відома енергія пластичного деформування деталі при технологічному процесі виготовлення у сукупності з інформацією про геометричні розміри деталі, дають повне уявлення про енергосилові параметри процесу. Разом з тим, енергія деформування, поглинута елементом захисної конструкції внаслідок удару, є одним із важливих параметрів технологічної спадковості відповідного елемента конструкції.

Висновки. В цій роботі, на основі феноменологічної теорії деформуємістості визначено питому потенціальну енергію та енергію деформування, що затрачена на проникнення індентора (кулі) в броньовану сталь марки 45Х2НМФА. Базуючись на підходах наведених в феноменологічній теорії деформуємістості запропоновано визначення деяких характеристик напружено-деформованого стану як в статичних так і динамічних умовах.

Уточнено розрахунок коефіцієнту опору середовища броньованих сталей та отримано залежність, яка враховує падіння швидкості руху індентора в середовищі, що зміцнюється.

Крім того, розглянуто сучасні феноменологічні підходи, які дозволять інженерам-конструкторам та інженерам-технологам ще на стадії проектування створювати безпечні елементи бронезахисту.

Література

1. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) : [монография] / Огородников В.А., Киселев В. Б., Сивак И. О. – В. : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 204 с.
2. Кириця І. Ю. Особливості формування технологічного паспорту матеріалу для броньованої сталі // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – № 2. – С. 68-71 (DOI 10.31891/2307-5732-2020-283-2-68-71).
3. Кириця І.Ю. Особливості розрахунку параметрів напружено-деформованого стану та побудови діаграм пластичності в зоні локалізації деформації під час розтягу циліндричних зразків // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 2. – С. 101 – 107.
4. Огородников В. А. Диагностика материалов в задачах технологической механики и автотехнических экспертизах / Огородников В. А., Перлов В. Е., Кириця И. Ю. // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія: «Машиностроение». – 2008. – № 52. – С. 21–26.
5. Огородников В. А. Механіка процесів холодного пластичного деформування вісесиметричних заготовок з глухим отвором : [монография] / Огородников В. А., Кириця І.Ю., Перлов В.Є. – Вінниця: – ВНТУ, 2015 – 164 с.
6. Частные вопросы конечной баллистики / Григорян В. А., Белобородько А.Н., Дорохов Н.С. и др. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 591 с.: ил. – ISBN 5-7038-2798-1.
7. Дель Г.Д. Технологическая механика / Дель Г.Д. – М.: Машиностроение, 1978. – 174 с.
8. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / Огородников В. А. – К.: Вища школа. Головное изд – во, 1983. – 175 с.

References

1. Ogorodnikov V. A. E`nergiya. Deformaczii. Razrushenie (zadachi avtotehnicheskoy e`kspertizy) : [monografiya] / Ogorodnikov V. A., Kiselev V. B., Sivak I. O. – V. : UNI`VERSUM–Vi`nniczya, 2005. – 204 s.
2. Kyrytsia I. Yu. Osoblyvosti formuvannia tekhnologichnoho pasportu materialu dlia bronovanoi stali // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2020. – № 2. – S. 68-71 (DOI 10.31891/2307-5732-2020-283-2-68-71).
3. Kyrytsia I. Yu. Osoblyvosti rozrakhunku parametriv napruzhenno-deformovanoho stanu ta pobudovy diahram plastychnosti v zoni lokalizatsii deformatsii pid chas roztyahu tsylindrychnykh zrazkiv // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2014. – № 2. – S. 101 – 107.
4. Ogorodnikov V. A. Diagnostika materialov v zadachakh tekhnologicheskoy mekhaniki i avtotehnicheskikh e`kspertizakh / Ogorodnikov V. A., Perlov V. E., Kiricza I. Yu. // Vi`snik Naczi`onal`nogo tekhnichnogo uni`versitetu Ukrainy "KPI". Seri`ya: "Mashinostroenie" – 2008 - № 52. – S. 21-26.
5. Ogorodnikov V. A. Mekhanika protsesiv kholodnoho plastychnoho deformuvannia visesymetrychnykh zahotovok z hlukhym otvorom : [monografiya] / Ogorodnikov V. A., Kyrytsia I. Yu., Perlov V. E. – Vinnytsia: – VNTU, 2015 – 164 s.
6. Chastny`e voprosy` konechnoy ballistiki / Grigoryan V. A., Beloborod`ko A. N., Dorokhov N. S. i dr. – M. : MG TU im. N. E`. Bauman, 2006. – 591 s.: il. – ISBN 5-7038-2798-1.
7. Del` G. D. Tekhnologicheskaya mekhanika / Del` G. D. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 174 s.
8. Ogorodnikov V. A. Ocenka deformiruемости metallov pri obrabotke davleniem/ Ogorodnikov V. A. – K.: Vishha shkola. Golovnoe izd – vo, 1983. – 175 s.

Надійшла / Paper received: 20.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 02.06.2020

РОТОРНО-ЛОПАТЕВА МАШИНА

У роботі розглянуто питання отримання механічного руху в тепловій машині. Розроблено роторно-лопатеву машину (РЛМ), що використовує спільно два принципи: роторно-лопатеву конструкцію і зовнішнє підведення теплоти. При додатковому оснащенні вона суттєво розширює свої функціональні можливості, зокрема, як парова роторно-лопатєва машина, або роторно-лопатєва машини, яка працює за замкненим термодинамічним циклом Стірлінга. Завдяки своїй компактності, зрівноваженості, максимальному літражу при обмежених розмірах корпусу і високому тепловому коефіцієнту корисної дії РЛМ може знайти широке застосування у різних галузях, де потрібні потужні і економічні силові агрегати невеликих розмірів, а також може використовуватися в енергетичних установках малої потужності для автономного вироблення теплової та електричної енергії.

Ключові слова: тепловий двигун, силовий агрегат, роторно-лопатєва машина, лопать, ротор.

M. KOSIYUK, A. KOSIYUK

Khmelnytskyi National University

ROTOR-BLADE MACHINE

The world's leading engine companies carry out research and development work aimed at improving the efficiency of heat engines, their reliability and durability, reducing weight and size, improving environmental performance, reducing fuel consumption and more. In the research of many companies, attempts are being made to fundamentally change the process of converting thermal energy into mechanical work. The use of rotor-blade engine design is one of the important areas of the process of improving heat engines. This gives a significant advantage over reciprocating engines in terms of specific dimensions and power, as well as resource. The second promising area of development of heat engines is the use of external heat supply, which eliminates a number of fundamental problems present in internal combustion engines. Obtaining mechanical motion in a heat engine, which shares two principles: rotor-blade design and external heat supply - is an extremely important scientific and technical direction.

The paper considers the issue of obtaining mechanical motion in a heat engine. A rotor-blade machine has been developed, which jointly uses two principles: a rotor-blade construction and external heat supply. With additional equipment, it significantly expands its functionality, in particular, as a steam rotary-vane machine, or a rotary-vane machine that operates on a closed thermodynamic Stirling cycle. The steam generator of the rotor-blade machine is made in the form of a three-dimensional cavity. Pressurized water is injected into the internal cavity, the wall temperature of which is maintained by a high-temperature torch formed by a special burner device equipped with modules for preparation and supply of fuel, hot air and superheated water vapor to the combustion zone. Due to its compactness, balance, maximum capacity with limited body size and high thermal efficiency of the rotary blade machine can be widely used in various industries where powerful and economical power units of small size are required, and can also be used in low-power power plants. autonomous generation of heat and electricity.

Keywords: heat engine, power unit, rotor-blade machine, blade, rotor.

Вступ. Провідні двигунобудівні фірми світу проводять науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи спрямовані на підвищення ефективності теплових двигунів, їх надійності і довговічності, зменшення ваги і габаритів, поліпшення екологічних показників, зниження витрати палива тощо. У дослідженнях багатьох фірм робляться спроби принципової зміни процесу перетворення теплової енергії в механічну роботу. Використання роторно-лопатєвої конструкції двигуна є одним з важливих напрямів процесу вдосконалення теплових машин. Це дає значну перевагу перед шатунно-поршневими двигунами за питомими габаритними і потужнісними показниками, а також ресурсу. Другим перспективним напрямом розвитку теплових двигунів є використання зовнішнього підведення теплоти, що дозволяє виключити ряд принципових проблем наявних у двигунах внутрішнього згорання. Отримання механічного руху в тепловій машині, що використовує спільно два принципи: роторно-лопатєву конструкцію і зовнішнє підведення теплоти, – є надзвичайно актуальним науково-технічним напрямком.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій. Двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) знайшли надзвичайно широке застосування, але найбільше, як двигуни для транспортних засобів. Перелік конструкцій ДВЗ досить широкий, але в експлуатації найбільше поширення набули кривошипно-шатунні поршнєві дизельні і карбюраторні двигуни. Дані машини найбільш розповсюджені. Вони мають гарні умови для ущільнень камер стискування і для охолодження, достатньо відпрацьовану технологію виготовлення і задовільний ресурс. Незважаючи на це, зазначені двигуни мають велику кількість недоліків. На даний час поршнєві двигуни досягли піку свого розвитку, досягли межі економічності і багато спеціалістів вважають їх морально застарілими [1].

Більш перспективними є роторні двигуни. Найбільш відоме рішення для роторних ДВЗ – двигун Ванкеля [2]. Перевагами цієї конструкції є відсутність необхідності у перетворенні зворотно-поступального руху в обертальний, істотне зниження маси рухомих частин за рахунок виключення з конструкції колінчастого вала і шатунів, низький рівень вібрацій, широкий діапазон робочих чисел оборотів двигуна і конструктивна простота, а як наслідок – високі динамічні характеристики, питома потужність і менші габаритні розміри. Маса і габарити двигуна Ванкеля в 2–3 рази менше відповідних їм за потужністю існуючих ДВЗ. Недоліками названої конструкції є складна форма конструкції корпусу, ротора і його приводу, а також низький ресурс механічних ущільнень.

Альтернативною схемою є конструкції роторно-лопатевих двигунів. Зазвичай вони містять порожнистий корпус, в якому на співвісних валах розташовані два дволопатеви ротори, що поділяють порожнину корпусу на камери змінного об'єму і механізм зв'язку лопатей [3, 4].

Основна складність роторно-лопатевого двигуна полягає в тому, що для нього необхідний простий надійний і довговічний механізм зв'язку лопатей, що забезпечує необхідний рух однієї лопаті відносно іншої. Проте простота компоновки РЛД дозволяє сподіватися на досягнення при подальшому конструкторському опрацюванні високих значень основних показників, що пред'являються до двигунів, головними з яких є економічність, надійність, ресурс, матеріаломісткість, доступність виготовлення і простота обслуговування, екологічність, досить високий ККД, конструкторська і технологічна спадкоємність, ступінь їх стандартизації та уніфікації.

В останні роки значно збільшується інтерес до двигунів із зовнішнім підведенням теплоти, що пов'язано з можливістю перетворення в цих двигунах в енергію будь-якого виду теплоти і низьким рівнем токсичності, що значно розширює сферу їх застосування у порівнянні з найбільш поширеними в даний час ДВЗ [5]. Актуальним завданням є створення високоефективних силових агрегатів на базі парових роторно-лопатевих двигунів машин об'ємної дії або двигунів з іншим робочим тілом у приводах різних механізмів, зокрема для приводу електрогенераторів мікро- і мініелектростанцій.

Мета роботи – розробка простої за конструкцією, надійної РЛМ із зовнішнім підведенням тепла з великим терміном служби, зручною компоновкою і розширеними функціональними можливостями.

Виклад основного матеріалу. Авторами розроблена РЛМ, будова і принцип роботи, якої схематично показані на рис. 1.

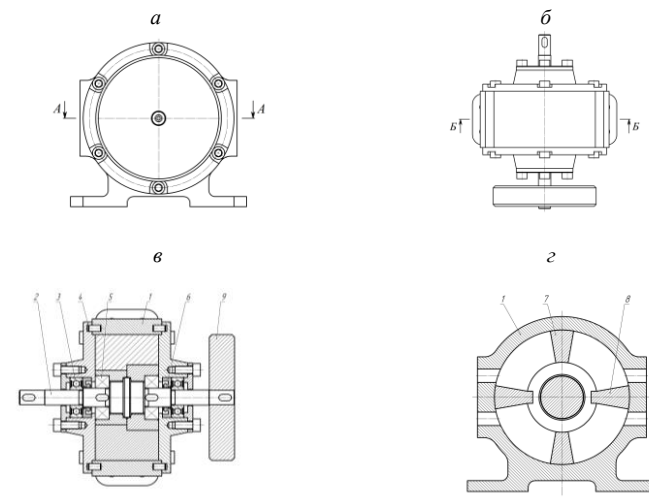


Рис. 1. Конструктивна схема роторно-лопатевої машини:

a – вид спереду; *б* – вид зверху; *в* – розріз А-А; *г* – переріз Б-Б;

1 – корпус з каналами підведення і відведення робочого тіла; 2 – ротор; 3 – підшипник; 4 – торцева кришка; 5 – одностороння обгінна муфта; 6 – ущільнення; 7 – двостулковий лопатевий елемент; 8 – двостулковий лопатевий елемент; 9 – маховик

Герметизація робочих порожнин РЛМ забезпечується за рахунок точності виготовлення деталей і установки лабіринтових або інших ущільнень.

Працює РЛМ таким чином. Відповідно до алгоритму роботи машини робоче тіло, наприклад, повітря, що знаходиться під тиском, подається через канали підведення у робочі порожнини, які утворюються корпусом 1, торцевими кришками 4 і двостулковими лопатевиими елементами 7 і 8. Під дією робочого тіла лопатеви елементи 7 і 8 за допомогою односторонніх обгінних муфт 5 поперемінно передають крутний момент ротору 2, співвісно встановленому на підшипниках 3 в кришках 4. Для уникнення зворотного обертання ротора 2 і забезпечення плавного обертання відносно корпусу 1, його оснащують маховиком 9. Конструктивно лопатеви елементи 7 і 8 виконані з можливістю уникнення ударних навантажень і забезпечення гарантованого зазору між ними в крайніх положення для забезпечення ефективної дії на них робочого тіла (рис. 2). Стиснене повітря, яке передало свою енергію ротору, через канали в корпусі відводиться в навколишнє середовище.

РЛМ компактна, має просте компоновання і малу кількість деталей. Всі обертові деталі прекрасно врівноважені і мають великий ресурс роботи. Суттєвою перевагою запропонованої РЛМ є відсутність в конструкції складного механізму узгодження руху лопатей.

При додатковому оснащенні, РЛМ суттєво розширює свої функціональні можливості, зокрема, як паровий двигун. Відомий спосіб спалювання різних видів палива (твердого, рідкого, газоподібного) з подачею в зону горіння перегрітої водяної пари. Це забезпечує парову газифікацію продуктів термічного розкладання і неповного згоряння палива з утворенням водяного газу. Причому, чим вища температура розігрітого пару, тим слабкіший зв'язок між атомами водню і кисню в молекулах води і тим активніше атоми вуглецю в зоні горіння притягують до себе кисень, формуючи молекули СО у водяному газі. Водяний газ –

газова суміш, склад якої в середньому процентному співвідношенні становить: CO – 44 %, N₂ – 6 %, CO₂ – 5 %, H₂ – 45 %. Водяний газ прекрасно горить. Це суттєво підвищує температуру горіння різних видів палива (твердого, рідкого, газоподібного) – кам'яного вугілля, коксу, мазуту, метану і т.д. [6].

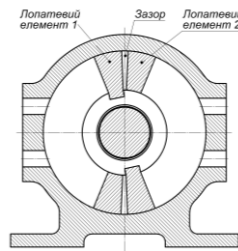


Рис. 2. Схема розміщення лопатєвих елементів в їх крайньому положенні

Парогенератор РЛМ виконують у вигляді об'ємної порожнини. У ньому відсутня поверхня кипіння води, яка визначає габарити пристрою. Вода під тиском впорскується у внутрішню порожнину, температура стінок якої підтримується високотемпературним факелом, сформованим спеціальним пальниковим пристроєм, оснащеним модулями підготовки і подачі палива, гарячого повітря і перегрітої водяної пари в зону горіння. Що ж стосується теплопровідності металу, з якого виготовляється порожнина парогенератора, то вона збільшується з підвищенням температури. Тому через одну і ту ж поверхню можна передати більшу потужність теплової енергії, що знову ж таки веде до зменшення габаритів пристрою.

Відомо, що вуглець, що міститься в розпечених частинках сажі при температурі 1000–1200 °C забирає атомарний кисень у води, перетворюючись при цьому з твердого тіла в газоподібний за формулою: $H_2O + C = CO + H_2$. Таким чином, область горіння палива, що містить вуглець який виробляє велику кількість частинок сажі, насичується киснем, віднятим у води і перетворюються в окис вуглецю CO. Крім того, звільняється молекулярний водень, маса якого становить до 6% від маси води, що розклалася. Теплота згоряння водню в три рази перевищує теплоту згоряння вихідного палива, а наявність в зоні горіння парів води прискорює горіння окису вуглецю. Монооксид вуглецю (чадний газ), що утворився у топці, займається при температурі в 700 °C і горить з температурою, що досягає 2100 °C.

Всі перераховані вище фактори дозволяють спалювати різні види палива (тверді, рідкі, газоподібні) з дуже гарною якістю, що підтверджується експериментами. А головне – при горінні не утворюється сажа та інші шкідливі викиди – всі тверді вуглеводневі частинки газифікуються з утворенням чадного газу і водню. Ті в свою чергу, згораючи, утворюють нешкідливі воду і вуглекислий газ. В результаті викиди при спалюванні з використанням пари не тільки відповідають діючим екологічним нормативам, а й мають в рази нижчі у порівнянні з гранично допустимими концентраціями значення.

На рис. 3 зображені схеми роторно-лопатєвої машини із зовнішнім підведенням тепла. Парова роторно-лопатєва машина працює таким чином (рис. 3, а). Вода безперервно подається у парогенератор, де вона нагрівається за допомогою спеціального пальникового пристрою (не показано), перетворюючись тим самим у пар. Далі пар по термоізолюваному паропроводу надходить у робочі порожнини машини. Пар, що знаходиться під високим тиском, чинить тиск на суміжні двостулкові лопатєві елементи кожної робочої порожнини. Виникаюча в результаті цього різниця тисків змушує ротор обертатися, завдяки його кінематичному зв'язку через односторонні обгінні муфти з двостулковими лопатєвими елементами. При повороті ротора двостулковий лопатєвий елемент кожної робочої порожнини переходить точку розташування відповідного елемента відведення пари, внаслідок чого пар з кожної робочої порожнини вільно виходить через елементи відведення. Далі цикл повторюється.

Функціональна можливість РЛМ працювати за замкненим термодинамічним циклом Стірлінга, досягається шляхом додатково її оснащення нагрівачем, рекуператором і холодильником робочого тіла, які з'єднані термоізолюваними каналами з гарячою і холодною порожнинами корпусу роторно-лопатєвої машини (рис. 3, б). У каналах можуть бути встановлені рекуператори, які беруть на себе основне теплове навантаження. Корпус машини заповнюється робочим тілом (газом) під початковим надлишковим тиском. У чотирьох робочих камерах одночасно здійснюються такти термодинамічного циклу Стірлінга: впуск, стиснення, підведення тепла, робочий хід, випуск, відведення тепла.

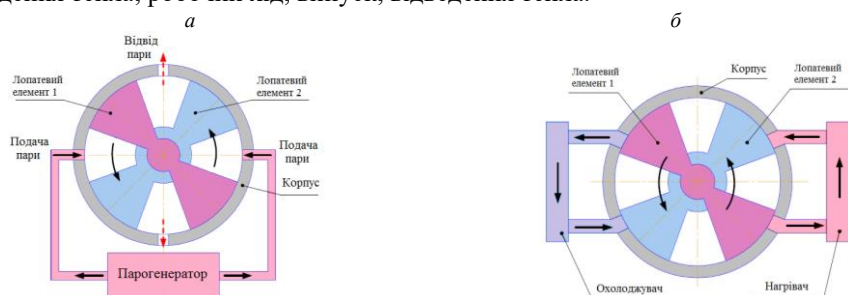


Рис. 3. Схеми роторно-лопатєвої машини із зовнішнім підведенням тепла:

а – парова роторно-лопатєва машина; б – роторно-лопатєва машини, яка працює за замкненим термодинамічним циклом Стірлінга

РЛМ можна виготовляти з використанням відомих у промисловості матеріалів, устаткування та інструментів. Вона має низку переваг перед ДВЗ, а саме: суттєве зменшення шкідливих викидів у атмосферу і економічне використання пального; високий ККД; відсутність вібрацій; ідеальна тягова характеристика і низька вартість; можливість роботи на будь-якому паливі, відходах нафтопереробки і харчової промисловості. Завдяки своїй компактності, зрівноваженості, максимальному літражу при обмежених розмірах корпусу і високому тепловому коефіцієнту корисної дії РЛМ може знайти широке застосування в різних галузях, де потрібні потужні і економічні силові агрегати невеликих розмірів.

Висновок. Розроблено РЛМ, яка використовує спільно два принципи: роторно-лопатеву конструкцію і зовнішнє підведення теплоти. При додатковому оснащенні вона суттєво розширює свої функціональні можливості, зокрема, як парова роторно-лопатєва машина, або роторно-лопатєва машини, яка працює за замкненим термодинамічним циклом Стірлінга. РЛМ може знайти широке застосування у різних галузях, де потрібні потужні і економічні силові агрегати невеликих розмірів, а також може використовуватися в енергетичних установках малої потужності для автономного вироблення теплової та електричної енергії.

Література

1. Двигатели внутреннего сгорания : учебник для вузов / под ред В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – [2-е изд., пере-раб. и доп.]. – М. : Высш. шк., 2005. – 414 с.
2. Злотин Г.Н. Особенности рабочего процесса и пути повышения энергетической эффективности роторно-поршневых двигателей Ванкеля : монография / Г.Н. Злотин, Е.А. Федянов. – Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2010.
3. Гринёв Д.В. Конструктивные схемы и принципы работы роторно-лопастных машин / Д.В. Гринёв // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономика. Право. Управление. – 2014. – № 5. – С. 142–150.
4. Отений Я.Н. Роторно-лопастной двигатель с качающимися лопастями / Я.Н. Отений, А.Э. Вирт // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9. – Часть 3. – С. 449–451.
5. Матрунчик А. С. Использование двигателя внешнего сгорания для выработки электрической энергии / А. С. Матрунчик // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 6 (48). Ч. 2. – С. 108–110.
6. Косіюк М.М. Автономна високоефективна когенераційна установка / М.М. Косіюк, А.М. Косіюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – № 2. – С. 84–88.

References

1. Dvigateli vnutrennego sgoraniya : uchebnyk dlya vuzov / pod red V.N. Lukanina i M.G. Shatrova. – [2-e izd., pere-rab. i dop.]. – M. : Vyssh. shk., 2005. – 414 s.
2. Zlotin G.N. Osobennosti rabochego processa i puti povysheniya energeticheskoy effektivnosti rotornno-porshnevnykh dvigatelej Vankelya : monografiya / G.N. Zlotin, E.A. Fedyanov. – Volgograd : Izd-vo VolgGTU, 2010.
3. Grinyov D.V. Konstruktivnye shemy i principy raboty rotornno-lopastnykh mashin / D.V. Grinyov // Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Pravo. Upravlenie. – 2014. – № 5. – S. 142–150.
4. Otenij Ya.N. Rotornno-lopastnoy dvigatel s kachayushimisya lopastyami / Ya.N. Otenij, A.E. Virt // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. – 2015. – № 9. – Chast 3. – S. 449–451.
5. Matrunchik A. S. Ispolzovanie dvigatelya vneshnego sgoraniya dlya vyrabotki elektricheskoy energii / A. S. Matrunchik // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2016. – № 6 (48). Chast 2. – S. 108–110.
6. Kosiiuk M.M. Avtonomna vysokoefektyvna koheneratsiina ustanovka / M.M. Kosiiuk, A.M. Kosiiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2020. – № 2. – S. 84–88.

Надійшла / Paper received: 02.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020

ВИЗНАЧЕННЯ ЗВЕДЕНИХ ОБЕРТАЛЬНИХ МОМЕНТІВ РІВНЯНЬ ДИНАМІКИ ПРИСТРОЇВ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ЧЕРЕЗ ЗУБЧАСТІ ДИФЕРЕНЦІАЛИ З ЗАМКНУТИМИ ГІДРОСИСТЕМАМИ

У статті наведена методика отримання аналітичних виразів для визначення зведених обертальних моментів для пристроїв керування змінами швидкості з зубчастими диференціалами і замкнутими гідросистемами. Отримані аналітичні вирази відносяться до випадків, коли керування швидкістю може виконуватись через сонячне зубчасте колесо, або епіцикл, або водило в прямому і зворотному напрямках. Вирази для зведених обертальних моментів використовуються у рівняннях динаміки методом Лагранжа II роду. Це дозволить розв'язати отримане рівняння динаміки, проаналізувати з точки зору силових змін і обрати кращий варіант.

Ключові слова: зведений обертальний момент, пристрій для керування змінами швидкості, зубчастий диференціал, замкнута гідросистема, сонячне зубчасте колесо, епіцикл, водило, сателіт.

O. R. STRILETS¹, V. O. MALASHENKO², V. M. STRILETS¹

¹National University of Water And Environmental Engineering, Rivne

²Lviv Polytechnic National University

DETERMINATION OF THE AGGREGATE TORQUES FOR THE EQUATIONS OF DYNAMICS OF SPEED CHANGE DEVICES INCLUDING GEAR DIFFERENTIALS WITH CLOSED-LOOP HYDRAULIC SYSTEMS

The aim of the research is to develop a method and obtain mathematical models for determining the aggregate torques of speed change devices that include gear differentials combined with closed-loop hydraulic systems. An analysis of recent scientific publications shows that insufficient attention has been paid to the dynamic processes that take place in new speed control devices with a gear differential using a closed-loop hydraulic system, which are developed at the level of patents. These issues of the dynamics of such devices are waiting to be resolved, especially in the direction of accumulating knowledge about the aggregate torques. To solve this problem, three schemes of speed control devices have been used, namely, when closed-loop hydraulic systems pumps are meshed either with sun gears, or carriers, or ring gears of the corresponding gear differential. The analytical dependencies between the torques and the angular velocities of the links through the gear ratios of the individual gearings of the gear differential and the drive of the closed-loop hydraulic system have been taken into consideration. Expressions for aggregate torques can be further applied in dynamics equations by the Lagrange method of the second kind, which will allow to solve those equations and analyze them in terms of force changes so to choose the best option among different schemes of gear differentials of speed change devices. The results have practical application at the stage of development and design of new speed change control devices and are the basis for further research of dynamic processes. It is recommended for implementation in design and engineering practice in the development of new speed change devices including gear differentials of drives of various equipment and in the educational process of higher technical educational institutions in the disciplines of mechanical engineering to study machine drives.

Key words: aggregate torque, speed change control device, gear differential, closed-loop hydraulic system, sun gear, ring gear, carrier.

Постановка проблеми. У приводах підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських і гірничих машин, на автомобілях і тракторах, на судах, літальних і підводних апаратах виникає необхідність керування змінами швидкості за величиною та напрямком їх виконавчих механізмів. Для цього часу часто використовуються пристрої з ступеневим і безступеневим керуванням швидкістю відповідно за допомогою ступінчастих і безступінчастих коробок швидкостей, які мають прості та складні зубчасті передачі, або ланцюгові, пасові та фрикційні варіатори. Основними недоліками існуючого ступінчастого керування швидкістю є складність конструкції, велика матеріаломісткість, складність автоматизації, виникнення динамічних навантажень під час переходів з однієї швидкості на іншу, а традиційного безступінчастого – інтенсивне спрацювання деталей внаслідок використання фрикційних зв'язків стрічкових, колодкових або дискових гальм та блокувальних фрикційних муфт. Це істотно впливає на зменшення довговічності і надійності деталей приводів і машин в цілому. Тому, на основі огляду та аналізу існуючих пристроїв зміни швидкості, робиться висновок [1, 2], що актуальною науково-технічною задачею є розробка і дослідження нових пристроїв для керування процесом зміни швидкості у вигляді зубчастих диференціалів з замкнутими гідросистемами, кінематична можливість [3–6] і енергетична ефективність [7–9] яких доведена застосуванням моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До уваги взяті останні дослідження і публікації, у яких виконані роботи, присвячені пристроям з зубчастими диференціалами [10–24].

В [10] проаналізовано вплив зміни форми профілю зубця планетарної передачі на динаміку механічного привода без врахування енергозатрат.

В [11] запропонована і досліджена нелінійна динамічна модель двоступінчастого планетарного механізму на підставі аналітичного рішення динамічних рівнянь у програмі MATLAB, але при цьому не враховані втрати, величини яких оцінюються коефіцієнтом корисної дії.

В [12] проведений спільний аналіз діапазонів ефективності та коефіцієнта передачі планетарних передач, який можна досягти усіма можливими конструктивними рішеннями.

В [13] представлені результати перевірки динамічної моделі приводу з редуктором, які проводилися на реальному об'єкті в різних умовах експлуатації і стимуляційні дослідження, щоб визначити придатність моделі, але без врахування енергетичної ефективності.

В [14] запропонований новий метод розрахунку кінематичних і силових параметрів планетарного редуктора на основі гіперграфа і матричної операції. Розрахунок ККД здійснюється, слідуючи потоку потужності, а рівнянням втрат потужності на кожній ділянці виводяться через підхід, заснований на відносній силі само обертання.

В [15] отримані формули теоретичної ефективності для *двоступінчастої* диференціальної передачі та перевірені експериментальними дослідженнями.

В [16] досліджується ККД складних зубчастих передач на основі графічних та гвинтових теорій, що дозволяють отримувати наближені значення шуканих величин.

В [17] обґрунтовується зменшення вартості конструкції багато швидкісних планетарних передач на основі системного синтезу з врахуванням таких вимог, як ступінь співвідношення, ефективність, планарність механізму для важких вантажних транспортних засобів.

В [18] представлена конструкція двохступінчастого планетарного редуктора з розрахунком кінематики, статичної та ефективності зачеплення зубчастих коліс. Розрахунки геометрії і міцності зубчастих коліс, валів і підшипників кочення опускаються, так як вони визнані типовими розрахунками конструкцій.

В [19], на основі зміни обертального моменту, рівнянь силового балансу і силового аналізу основних елементів, проаналізовано розподіл потужностей багатоступінчастого мікропланетарного редуктора 2К-Н.

В [20] автори пропонують алгоритм для вирішення завдання з виявлення виродженої планетарної зубчастої передачі, автоматизований за допомогою інтерактивної комп'ютерної програми. Алгоритм застосовується для передач з будь-якою кількістю ступенів свободи.

В [21] звертається увага на повне розуміння базової механіки планетарних передач та оцінки їх механічної ефективності та робиться висновок, що для тих самих вхідних та вихідних ланок втрата потужності має для кожної дійсної послідовності кутових швидкостей своєрідне математичне вираження.

В [22] наведені причини, які стримують застосування плавно регульованої планетарної передачі, із-за конструктивної складності механізму регулювання передаточного відношення та описані варіанти його спрощення.

В [23] звернута увага, що планетарні передачі використовуються в промисловості за багатьма перевагами, які мають підвищену ефективність і дуже компактний привод, складений з зубчастих коліс і вихід з ладу однієї ланки впливає на всю передачу, тому необхідно знати причини цього процесу.

В [24] запропонована динамічна модель керування швидкості через епіцикл привода із зубчастою диференціальною передачею і замкнутою гідросистемою – отримана система диференціальних рівнянь.

Із аналізу останніх публікацій видно, що питанням динаміки нових пристроїв керування змінами швидкості з зубчастим диференціалом за допомогою замкнутої гідросистеми приділено недостатньо уваги. Ці питання динаміки таких пристроїв чекають свого розв'язку особливо в напрямку накопичування знань про зведені обертальні моменти.

Мета роботи. Розробити методику і отримати математичні моделі з визначення зведених обертальних моментів пристроїв зміни швидкості за допомогою зубчастих диференціалів з замкнутими гідросистемами у випадках, коли ланками і зведення, і керування будуть сонячні зубчасті колеса, або епіцикли, або водила.

Реалізація роботи. На зведеному рис. 1 [7, рис. 2–4] показані схеми пристроїв керування швидкістю за допомогою зубчастих диференціалів різних конструктивних виконань і замкнутих гідросистем через епіцикли (рис. 1, а), сонячні зубчасті колеса (рис. 1, б) і водила (рис. 1, в).

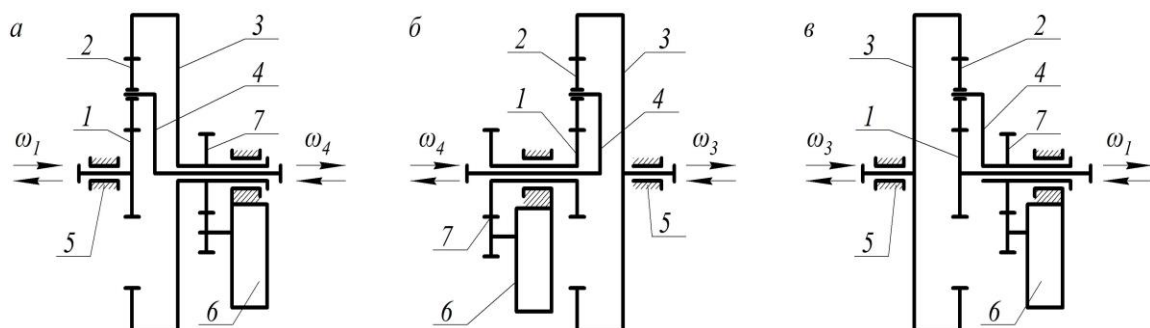


Рис. 1. Схеми пристроїв керування швидкістю за допомогою зубчастих диференціалів і замкнутих гідросистем через: а – епіцикли; б – сонячні зубчасті колеса; в – водила

Принцип керування змінами швидкості за допомогою такого пристрою, в залежності від різних його конструкцій, детально описано в попередніх дослідженнях, наприклад, [7]. В динамічну модель [24] руху пристрою керування змінами швидкості через зубчастий диференціал з замкнутою гідросистемою, що отримана з застосуванням рівняння Лагранжа II роду, входять зведені обертальні моменти ведучої ланки $M_{зв}$,

якою може В динамічну модель [24] руху пристрою керування змінами швидкості через зубчастий диференціал з замкнутою гідросистемою, що отримана з застосуванням рівняння Лагранжа II роду, входять зведені обертальні моменти ведучої ланки $M_{3\text{зв}}$, якою може бути або сонячне зубчасте колесо, або епіцикл, або водило, які необхідно визначити, і обертальний момент опору робочого механізму $M_{\text{опм}}$, прийнятий із його технічної характеристики.

Зведений обертальний момент $M_{3\text{зв}}$ прийнято визначати з рівності потужностей ланок пристрою зміни швидкості при нерухомому водилі [25, 26]. Він є функцією від кутової швидкості ведучої ланки $M_{3\text{зв}} = M_{3\text{зв}}(\omega_6)$.

Запишемо вираз рівності потужності ланки зведення і суми потужностей окремих ланок пристрою зміни швидкості через зубчастий диференціал з замкнутою гідросистемою, показаних на рис. 1.

$$P_{3\text{зв}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_6, \quad (1)$$

де потужності: $P_{3\text{зв}} = M_{3\text{зв}}\omega_{3\text{зв}}$ – ланки зведення; $P_1 = M_1\omega_1$ – сонячного зубчастого колеса; $P_2 = M_2\omega_2$ – сателітів; $P_3 = M_3\omega_3$ – епіциклу; $P_4 = M_4\omega_4$ – водила; $P_6 = M_6\omega_6$ – замкнутої гідросистеми та її привода.

Підставимо значення потужностей ланок у вираз (1) і визначимо значення зведеного обертального моменту:

$$M_{3\text{зв}} = \frac{M_1\omega_1 + M_2\omega_2 + M_3\omega_3 + M_4\omega_4 + M_6\omega_6}{\omega_{3\text{зв}}}, \quad (2)$$

де $M_{3\text{зв}}$ та $\omega_{3\text{зв}}$ – зведений обертальний момент і кутова швидкість ланки зведення; M_1, M_2, M_3, M_4, M_6 і $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_6$ – обертальні моменти і кутові швидкості ланок пристрою для керування змінами швидкості за допомогою зубчастого диференціала і замкнутої гідросистеми, відповідно, сонячного зубчастого колеса, сателітів, епіциклу, водила, замкнутої гідросистеми та її привода. Відомо, що керування зміною швидкості може виконуватися через епіцикл, або водило, або сонячне зубчасте колесо.

На рис. 1, а, показана схема пристрою для зміни швидкості, де керування виконується через епіцикл, а ведучою ланкою і ланкою зведення є сонячне зубчасте колесо з кутовою швидкістю $\omega_{3\text{зв}} = \omega_1$, а веденою водило. Розділимо вираз (2) на ω_1 на члени, тоді отримаємо:

$$M_{3\text{зв}} = M_1 + M_2u_{21}^{(4)} + M_3u_{31}^{(4)} + M_4u_{41}^{(4)} + M_6u_{61}^{(4)}, \quad (3)$$

де $u_{21}^{(4)}, u_{31}^{(4)}, u_{41}^{(4)}, u_{61}^{(4)}$ – передаточні відношення між ланками пристрою для керування змінами швидкості за допомогою зубчастого диференціала і замкнутої гідросистеми, відповідно, сателітів, епіцикла, водила та привода замкнутої гідросистеми, які визначаються за виразами:

$$u_{21}^{(4)} = -\frac{z_1}{z_2}; u_{31}^{(4)} = -\frac{z_1}{z_3}; u_{41}^{(4)} = 1 - u_{31} = 1 + \frac{z_1}{z_3}; u_{61}^{(4)} = u_{31}u_{77}^{(1)} = \frac{z_1z_7'}{z_3z_7}, \quad (4)$$

де z_1, z_2, z_3, z_7, z_7' – числа зубців зубчастих коліс, відповідно, сонячного, сателіта, епіцикла і привода замкнутої гідросистеми.

Використаємо зв'язок між обертальними моментами ланок, який існує у зубчастому диференціалі. Якщо відомий обертальний момент на сонячному зубчастому колесі M_1 , тоді: $M_2 = -M_1u_{12}^{(4)}\eta_{12}$, $M_3 = -M_1u_{13}^{(4)}\eta_{13}$, $M_4 = -M_1(1 - u_{13}^{(4)})\eta_{13}$. Обертальний момент привода замкнутої гідросистеми залежить від обертального моменту ланки керування. Для ланки керування епіцикла $M_6 = M_3u_{77}^{(4)} = -M_1u_{13}^{(4)}u_{77}^{(4)}\eta_{13}\eta_{77}$. У цих виразах $\eta_{12}, \eta_{13}, \eta_{77}$ – коефіцієнти корисної дії між відповідними ланками.

Підставимо значення моментів M_2, M_3, M_4, M_6 через M_1 у вираз (3) отримаємо:

$$M_{3\text{зв}} = M_1[1 - u_{12}^{(4)}\eta_{12} - (1 - u_{13}^{(4)})\eta_{13} - u_{13}^{(4)}\eta_{13}(1 + u_{77}^{(4)}\eta_{77})]. \quad (5)$$

На рис. 1, б, показана схема пристрою для зміни швидкості, де керування виконується через сонячне зубчасте колесо, а ведучою ланкою і ланкою зведення є водило з кутовою швидкістю $\omega_{3\text{зв}} = \omega_4$, а веденою епіцикл. Розділимо вираз (2) на ω_4 на члени, тоді отримаємо:

$$M_{3\text{зв}} = M_1u_{14}^{(4)} + M_2u_{24}^{(4)} + M_3u_{34}^{(4)} + M_4 + M_6u_{64}^{(4)}, \quad (6)$$

де $u_{14}^{(4)}, u_{24}^{(4)}, u_{34}^{(4)}, u_{64}^{(4)}$ – передаточні відношення між ланками пристрою для керування змінами швидкості за допомогою зубчастого диференціала і замкнутої гідросистеми відносно ланки зведення, відповідно, сонячного зубчастого колеса, сателітів, епіциклу та привода замкнутої гідросистеми, які визначаються за виразами:

$$\begin{aligned} u_{14}^{(1)} &= 1 - u_{21}^{(4)} = 1 + \frac{z_1}{z_2}; \quad u_{24}^{(1)} = 1 - u_{21}^{(4)} = 1 + \frac{z_1}{z_2}; \\ u_{34}^{(1)} &= 1 - u_{31}^{(4)} = 1 + \frac{z_1}{z_3}; \quad u_{64}^{(4)} = u_{14} u_{77}^{(4)} = \left(1 + \frac{z_1}{z_2}\right) \frac{z_7'}{z_7}. \end{aligned} \quad (7)$$

Відносно ланки зведення використаємо зв'язок між обертальними моментами у зубчастому диференціалі таким чином. Якщо відомий обертальний момент на водилі, тоді: $M_1 = -\frac{M_4}{(1 - u_{13}^{(4)})\eta_{13}}$;
 $M_2 = -\frac{M_4 u_{12}^{(4)} \eta_{12}}{(1 - u_{13}^{(4)})\eta_{13}}$, $M_3 = -\frac{M_4 u_{13}^{(4)} \eta_{13}}{(1 - u_{13}^{(4)})\eta_{13}}$. Обертальний момент приводу замкнутої гідросистеми
 $M_6 = M_1 u_{77} = -\frac{M_4 u_{77}}{(1 - u_{13}^{(4)})\eta_{13}}$.

Підставимо значення моментів M_1, M_2, M_3, M_6 у вираз (6), отримаємо:

$$M_{364} = M_4 \left[1 - \frac{1 + u_{12}^{(4)} \eta_{12} + u_{13}^{(4)} \eta_{13} + u_{77}}{(1 - u_{13}^{(4)})\eta_{13}} \right]. \quad (8)$$

Розглянемо випадок, коли ланкою зведення і ведучою ланкою буде епіцикл (рис. 1, в) з кутовою швидкістю $\omega_{363} = \omega_3$, веденою ланкою є сонячне зубчасте колесо, а керування швидкістю виконується замкнутою гідросистемою через водило. Розділимо вираз (2) на ω_3 на члени, отримаємо:

$$M_{363} = M_1 u_{13}^{(4)} + M_2 u_{23}^{(4)} + M_3 + M_4 u_{43}^{(4)} + M_6 u_{63}^{(4)}, \quad (9)$$

де $u_{13}^{(4)}, u_{23}^{(4)}, u_{43}^{(4)}, u_{63}^{(4)}$ – передаточні відношення між ланками пристрою для керування змінами швидкості за допомогою зубчастого диференціала і замкнутої гідросистеми, сонячного зубчастого колеса, сателітів, водила та приводу замкнутої гідросистеми, відповідно, до епіциклу, які визначаються:

$$u_{13}^{(4)} = -\frac{z_3}{z_1}; \quad u_{23}^{(4)} = -\frac{z_3}{z_2}; \quad u_{43}^{(4)} = 1 - u_{31} = 1 + \frac{z_1}{z_3}; \quad u_{63}^{(4)} = u_{13} u_{77}^{(1)} = \frac{z_1 z_7'}{z_3 z_7}. \quad (10)$$

Для отримання зведеного обертального моменту на епіциклі M_{363} визначимо M_1, M_2, M_4, M_6 через M_3 : $M_1 = -\frac{M_3}{u_{13}^{(4)} \eta_{13}}$, $M_2 = -\frac{M_3 u_{12}^{(4)} \eta_{12}}{u_{13}^{(4)} \eta_{13}}$, $M_4 = -\frac{M_3 (1 - u_{13}^{(4)}) \eta_{13}}{u_{13}^{(4)} \eta_{13}}$. За ланку керування приймемо водило і тоді обертальний момент буде $M_6 = M_4 u_{77} = -\frac{M_3 (1 - u_{13}^{(4)}) \eta_{13} u_{77}^{(4)}}{u_{13}^{(4)} \eta_{13}}$. Підставимо значення обертальних моментів у вираз (9) отримаємо

$$M_{363} = M_3 \left[1 - \frac{1 + u_{12}^{(4)} \eta_{12} - (1 - u_{13}^{(4)}) (1 + u_{77}) \eta_{13}}{u_{13}^{(4)} \eta_{13}} \right]. \quad (11)$$

Для пристроїв зміни швидкості з зубчастими диференціалами і замкнутими гідросистемами, наведеними на рис. 1, отримані вирази (5), (8) і (11) дозволяють визначити значення зведених обертальних моментів до ведучих ланок.

Висновки

1. Отримані вирази (5), (8) і (11) для визначення зведених обертальних моментів пристроїв зміни швидкості з зубчастими диференціалами і замкнутими гідросистемами у випадках, коли ведучими ланками є сонячні зубчасті колеса або епіцикли, або водила і до них виконується зведення обертальних моментів ланок в ході дослідження силових динамічних процесів.

2. Методика визначення зведених обертальних моментів може бути застосована для пристроїв зміни швидкості з іншими схемами зубчастих диференціалів і їх навантаження, що не наведені у даній статті.

3. Рекомендується для впровадження у проектну і конструкторську практику під час розробки конструкцій нових пристроїв зміни швидкості через зубчасті диференціали приводів різної техніки та в навчальний процес вищих технічних навчальних закладів у дисципліні машинознавства для вивчення приводів машин.

Література

1. Малащенко В.О. Класифікація способів і пристроїв керування процесом зміни швидкості у техніці / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Підйомно-транспортна техніка. – Одеса : ОНПУ, 2015. – № 1. – С. 70–78.

2. Malashchenko V. Fundamentals of Creation of New Devices for Speed Change Management / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets // *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*. – Lviv : NULP, 2015. – V. 1. № 2. – P. 11–20.
3. Стрілець О. Р. Керування змінами швидкості за допомогою диференціальної передачі через епіцикл / О.Р. Стрілець // *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. – Тернопіль : ТНТУ, 2015. – № 4(80). – С. 129–135.
4. Стрілець О.Р. Керування процесом зміни швидкості за допомогою диференціальної передачі через водило / О.Р. Стрілець // *Вісник Кременчуцького національного університету*. – Кременчук : Кр. НУ, 2015. – Вип. 6(95). – С. 72–77.
5. Стрілець О. Р. Керування процесом зміни швидкості за допомогою диференціальної передачі через сонячне зубчасте колесо / О.Р. Стрілець // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – Хмельницький : ХНУ, 2015. – № 5(229). – С. 68–72.
6. Malashchenko V. Method and device for speed change by the epicyclic gear train with stepped-planet gear set / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets // *Research Works of AFIT*. Warszawa, 2016. – Iss. 38. – P. 13–19.
7. Стрілець О.Р. Оцінка надійності пристроїв керування змінами швидкості через зубчасті диференціали на основі їх енергетичної ефективності / О.Р. Стрілець, В.О. Малащенко, В.М. Стрілець // *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. – Харків : ХНТУСГ, 2018. – № 13. – С. 147–154.
8. Malashchenko V. Investigation of the energy effectiveness of multistage differential gears when the speed is changed by the carrier / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets, S. Klysz // *Diagnostyka*. Warchawa. – 2019. – Vol. 20. № 6. – P. 57–64.
9. Strilets O. Energy effectiveness of the differential of a device for speed change through the sun gear / O. Strilets, V. Malashchenko, V. Strilets // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. Dnipro: NHU, 2019. – № 6. – p. 52–57.
10. Bahk C.-J. Analytical investigation of tooth profile modification effects on planetary gear dynamics / C.-J. Bahk, R. G. Parker // *Mechanism and Machine Theory*, Elsevier. – 2013. – №. 70. – P. 298–319.
11. Qilin H. Nonlinear Dynamic Analysis and Optimization of Closed-Form Planetary Gear System / Qilin Huang, Yong Wang, Zhipu Huo, Yudong Xie // *Mathematical Problems in Engineering*. – Vol. 2013. – 12 p. – doi: 10.1155/2013/149046.
12. Salgado D. R. Analysis of the transmission ratio and efficiency ranges of the four-, five-, and six-link planetary gear trains / D. R. Salgado, J. M. Castillo // *Mechanism and Machine Theory*. – 2013 – Vol. 73. – P. 218–243. – doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2013.11.001
13. Peruñ G. Verification Of Gear Dynamic Model In Different Operating Conditions / G. Peruñ // *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. – 2014 – 84 – P. 99–104.
14. Fuchun Y. Power flow and efficiency analysis of multi-flow planetary gear trains / Y. Fuchun, F. Jianxiong, Zh. Hongcai // *Mechanism and Machine Theory*. – 2015 – Vol. 92, – P. 86–99. – doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2015.05.003
15. Pawar P. V. Design of two stage planetary gear train for high reduction ratio / P. V. Pawar, P. R. Kulkarni // *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2015 – ESAT Publishing House, Bangalore, India, – Vol. 4, Iss. 6, – P. 150–157. – doi: 10.15623/ijret.2015.0406025
16. Chao C. Efficiency analysis of two degrees of freedom epicyclic gear transmission and experimental / C. Chao, C. Jiabin // *Mechanism and Machine Theory*. – 2015. – Vol. 87. – P. 115–130. – doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2014.12.017
17. Tianli X. Synthesis of seven-speed planetary gear trains for heavy-duty commercial vehicle / X. Tianli, H. Jibin, P. Zengxiong, L. Chunwang // *Mechanism and Machine Theory*. – 2014 – Vol. 90. – P. 230–239. – doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2014.12.012.
18. Drewniak J. Design for the bi-planetary gear train / J. Drewniak, P. Garlicka, P. Kolber // *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. – 2016 – 91. – P. 5–17. – doi: 10.20858/sjsutst.2016.91.1
19. Li J. Power Analysis and Efficiency Calculation of Multistage Micro-planetary Transmission / J. Li, Q. Hu, C. Zong, T. Zhu // *Energy Procedia*. – 2017 – 141. – P. 654–659. – doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.088
20. Wenjian Y. Automatic detection of degenerate planetary gear trains with different degree of freedoms / Y. Wenjian, D. Huafeng // *Applied Mathematical Modelling*. – 2018. – 64. – P. 320–332. – doi: 10.1016/j.apm.2018.07.038
21. Esmail E.L. Power losses in two-degrees-of-freedom planetary gear trains: A critical analysis of Radzimovsky's formulas / E.L. Esmail, E. Pennestri, A. Hussein Juber // *Mechanism and Machine Theory*. – 2018. – Vol. 128. – P. 191–204. – doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2018.05.015
22. Dankov A.M. Planetary Continuously Adjustable Gear Train With Force Closure Of Planet Gear And Central Gear: From Idea To Design / A.M. Dankov // *Science & Technique*. – 2018 – 17(3) – P. 228–237. – doi: 10.21122/2227-1031-2018-17-3-228-237.
23. Dobariya M. Design of Compound Planetary Gear Train / M. Dobariya // *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. – 2018. – Vol. 6, Iss. 4, – P. 3179–3184. – doi: 10.22214/ijraset.2018.452.

24. Стрілець О.Р. Динамічна модель керування швидкості через епіцикл привода із зубчастою диференціальною передачею / О.Р. Стрілець, В.О. Малащенко, В.Р. Пасіка, В.М. Стрілець // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – Львів : НУЛП, 2019. – № 911. – С. 63–67.

25. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин : підруч. / Я.Т. Кіницький / НАН України. – К. : Наук. Думка, 2002. – 660 с.

26. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин : учебное пособие для студентов вузов / С.Н. Кожевников. – Издание третье. – М. : Машиностроение, 1969. – 584 с.

References

1. Malashchenko V.O. Kasyfikatsiia sposobiv i prystroiv keruvannia protsesom zminy shvydkosti u tekhnitsi / V.O. Malashchenko, O.R. Strilets, V.M. Strilets // Pidmno-transportna tekhnika. – Odesa : ONPU, 2015. – № 1. – С. 70–78.
2. Malashchenko V. Fundamentals of Creation of New Devices for Speed Change Management / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets // Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science. – Lviv : NULP, 2015. – V. 1. № 2. – P. 11–20.
3. Strilets O. R. Keruvannia zminamy shvydkosti za dopomohoiu dyferentsialnoi peredachi cherez epitsykl / O.R. Strilets // Visnyk Ternopilskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – Ternopil : TNTU, 2015. – № 4(80). – С. 129–135.
4. Strilets O.R. Keruvannia protsesom zminy shvydkosti za dopomohoiu dyferentsialnoi peredachi cherez vodylo / O.R. Strilets // Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu. – Kremenchuk : Kr. NU, 2015. – Vyp. 6(95). – С. 72–77.
5. Strilets O.R. Keruvannia protsesom zminy shvydkosti za dopomohoiu dyferentsialnoi peredachi cherez soniachne zubchaste koleso / O.R. Strilets // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – Khmelnytskyi : KhNU, 2015. – № 5(229). – С. 68–72.
6. Malashchenko V. Method and device for speed change by the epicyclic gear train with stepped-planet gear set / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets // Research Works of AFIT. Warszawa, 2016. – Iss. 38. – P. 13–19.
7. Strilets O.R. Otsinka nadinosti prystroiv keruvannia zminamy shvydkosti cherez zubchasti dyferentsialy na osnovi yikh enerhetychnoi efektyvnosti / O.R. Strilets, V.O. Malashchenko, V.M. Strilets // Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv. – Kharkiv : KhNTUSH, 2018. – № 13. – С. 147–154.
8. Malashchenko V. Investigation of the energy effectiveness of multistage differential gears when the speed is changed by the carrier / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets, S. Klysz // Diagnostyka. Warchawa. – 2019. – Vol. 20. № 6. – P. 57–64.
9. Strilets O. Energy effectiveness of the differential of a device for speed change through the sun gear / O. Strilets, V. Malashchenko, V. Strilets // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. Dnipro: NHU, 2019. – № 6. – p. 52–57.
10. Bahk C.-J. Analytical investigation of tooth profile modification effects on planetary gear dynamics / C.-J. Bahk, R. G. Parker // Mechanism and Machine Theory, Elsevier. – 2013. – № 70. – P. 298–319.
11. Qilin H. Nonlinear Dynamic Analysis and Optimization of Closed-Form Planetary Gear System / Qilin Huang, Yong Wang, Zhipu Huo, Yudong Xie // Mathematical Problems in Engineering. – Vol. 2013. – 12 p. – doi: 10.1155/2013/149046.
12. Salgado D. R. Analysis of the transmission ratio and efficiency ranges of the four-, five-, and six-link planetary gear trains / D. R. Salgado, J. M. Castillo // Mechanism and Machine Theory. – 2013 – Vol. 73. – P. 218–243. – doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2013.11.001
13. Peruñ G. Verification Of Gear Dynamic Model In Different Operating Conditions / G. Peruñ // Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. – 2014 – 84 – P. 99–104.
14. Fuchun Y. Power flow and efficiency analysis of multi-flow planetary gear trains / Y. Fuchun, F. Jianxiong, Zh. Hongcai // Mechanism and Machine Theory. – 2015 – Vol. 92. – P. 86–99. – doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2015.05.003
15. Pawar P. V. Design of two stage planetary gear train for high reduction ratio / P. V. Pawar, P. R. Kulkarni // International Journal of Research in Engineering and Technology, 2015 – ESAT Publishing House, Bangalore, India, – Vol. 4, Iss. 6, – P. 150–157. – doi: 10.15623/ijret.2015.0406025
16. Chao C. Efficiency analysis of two degrees of freedom epicyclic gear transmission and experimental / C. Chao, C. Jiabin // Mechanism and Machine Theory. – 2015. – Vol. 87. – P. 115–130. – doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2014.12.017
17. Tianli X. Synthesis of seven-speed planetary gear trains for heavy-duty commercial vehicle / X. Tianli, H. Jibin, P. Zengxiong, L. Chunwang // Mechanism and Machine Theory. – 2014 – Vol. 90. – P. 230–239. – doi: 10.1016/j.mechmachtheory. 2014.12.012.
18. Drewniak J. Design for the bi-planetary gear train / J. Drewniak, P. Garlicka, P. Kolber // Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. – 2016 – 91. – P. 5–17. – doi: 10.20858/sjsutst.2016.91.1
19. Li J. Power Analysis and Efficiency Calculation of Multistage Micro-planetary Transmission / J. Li, Q. Hu, C. Zong, T. Zhu // Energy Procedia. – 2017 – 141. – P. 654–659. – doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.088
20. Wenjian Y. Automatic detection of degenerate planetary gear trains with different degree of freedoms / Y. Wenjian, D. Huafeng // Applied Mathematical Modelling. – 2018. – 64. – P. 320–332. – doi: 10.1016/j.apm.2018.07.038
21. Esmail E.L. Power losses in two-degrees-of-freedom planetary gear trains: A critical analysis of Radzimovskys formulas / E.L. Esmail, E. Pennestri, A. Hussein Juber // Mechanism and Machine Theory. – 2018. – Vol. 128. – P. 191–204. – doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2018.05.015
22. Dankov A.M. Planetary Continuously Adjustable Gear Train With Force Closure Of Planet Gear And Central Gear: From Idea To Design / A.M. Dankov // Science & Technique. – 2018 – 17(3) – R. 228–237. – doi: 10.21122/2227-1031-2018-17-3-228-237.
23. Dobariya M. Design of Compound Planetary Gear Train / M. Dobariya // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. – 2018. – Vol. 6, Iss. 4, – P. 3179–3184. – doi: 10.22214/ijraset.2018.452.
24. Strilets O.R. Dynamichna model keruvannia shvydkosti cherez epitsykl pryvoda iz zubchastoiu dyferentsialnoi peredacheiu / O.R. Strilets, V.O. Malashchenko, V.R. Pasika, V.M. Strilets // Visnyk Natsionalnoho universytetu „Lvivska politekhnika». Dynamika, mitsnist ta proektuvannia mashyn i pryladiv. – Lviv : NULP, 2019. – № 911. – С. 63–67.
25. Kinytskyi Ya.T. Teoriia mekhanizmv i mashyn : pidruch. / Ya.T. Kinytskyi / NAN Ukrainy. – K. : Nauk. Dumka, 2002. – 660 s.
26. Kozhevnikov S.N. Teoriya mehanizmv i mashin : uchebnoe posobie dlya studentov vuzov / S.N. Kozhevnikov. – Izdanie trete. – M. : Mashinostroenie, 1969. – 584 s.

Надійшла / Paper received: 11.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 04.06.2020

УДК 528.563

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-20

О. М. БЕЗВЕСІЛЬНА, Ю. В. КИРИЧУК, Н. М. НАЗАРЕНКО

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

ДВОКАНАЛЬНИЙ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИЙ ГРАВИМЕТР

У роботі отримано математичну модель роботи нового двоканального п'єзоелектричного гравіметра та виведено основне робоче рівняння руху автоматизованої аерогравіметричної системи із двоканальним п'єзоелектричним гравіметром. Отримане рівняння руху двоканального п'єзоелектричного гравіметра перетворене у вигляді, зручний для подальшого моделювання на ЕОМ.

Ключові слова: коливальна система, коефіцієнт демпфірування, двоканальний п'єзогравіметр.

O. BEZVESILNA, Y. KYRYCHUK, N. NAZARENKO

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

DUAL-CHANNEL PIEZOELECTRIC GRAVIMETER

The work is focused on obtaining a mathematical model of the new dual – channel piezoelectric gravimeter and formulation of the basic working equation of motion of an automated aerogravimetric system with a two – channel piezoelectric gravimeter. Under the action of gravity acceleration on the sensitive mass of a dual-channel piezoelectric gravimeter oscillatory system forced oscillations spring up. The oscillation system of the gravimeter consists of an inertial mass, a damping element and a stiffness element. The air that creates resistance to the motion of the inertial mass in our case acts as a damping element. The gravimeter stiffness element is characterized by the elastic properties of the elastic element. A new two-channel piezogravimeter has been proposed for substantial improvement of the accuracy of the automated aerogravimetric system. The possibility to achieve the piezogravimeter accuracy of the automated aerogravimetric system in 1 mGal, by compensating of instrumental errors is demonstrated (the influence of the environment, the influence of humidity changes, temperature and pressure, the influence of inaccuracy in the manufacture of piezoelectric packs of both channels). The obtained equation of a dual-channel piezoelectric gravimeter motion is transformed into a form suitable for further modeling on a computer. The oscillating system considered in the work is effective under certain conditions of motion of the inertial mass in the inertial frame of reference occurs along the vertical axis perpendicular to the plane of installation of the piezoelectric gravimeter; the force of elasticity is within the limits of possible oscillations and proportional to the deformation of the elastic element; the mass of the elastic element is insignificant and much less than the inertial mass; the mass of the sensing element, the coefficient of elasticity and damping are constant through the time; all components of the piezoelectric gravimeter are undamped. The equations of motion of a piezoelectric gravimeter for each channel were determined taking into account the conditions of location on the Earth.

Keywords: oscillating system, damping coefficient, dual-channel piezogravimeter.

При дії прискорення сили тяжіння (ПСТ) на його чутливу масу коливальної системи двоканальний п'єзоелектричний гравіметр (ДПГ) виникають вимушені коливання.

Коливальна система ДПГ складається з наступних елементів: інерційна маса (m), демпфіруючий елемент (n) та елемент жорсткості (κ). Повітря, яке створює опір рухові інерційної маси (ІМ) в нашому випадку виступає у якості демпфіруючого елемента. Елемент жорсткості гравіметра характеризується пружними властивостями пружного елемента (ПЕ) [1, 2].

Метою роботи є отримання математичної моделі двоканального п'єзоелектричного гравіметра та рівняння руху авіаційної гравіметричної системи на базі гравіметра цього типу.

Запропонована коливальна система є ефективною за визначених умов:

– рух ІМ в інерціальній системі відліку відбувається вздовж осі $z-z$, перпендикулярної площині встановлення п'єзоелектричного гравіметра (ПГ);

– сила пружності, у межах можливих коливань, пропорційна деформації пружного елемента;

– маса пружного елемента є незначною і набагато менша за ІМ;

– маса чутливого елемента (ЧЕ), коефіцієнт пружності та демпфірування є незмінними у часі;

– опора, ІМ та інші складові ПГ є недемпфированими.

Для **одного чутливого елемента** ДПГ рух інерційної маси із прискоренням g_z забезпечує сила, пов'язана з ним згідно до другого закону Ньютона:

$$G = mg_z, \quad (1)$$

де m – величина ІМ, G – сила, яка діє на ІМ.

На ІМ під час руху діють також інерційна сила від дії вертикального прискорення ЛА, сила опору руху та сила пружності ПЕ.

Сила пружності ПЕ, відповідно до закону Гука, дорівнює:

$$F_{np} = -\kappa x, \quad (2)$$

де F_{np} – сила пружності пружного елемента; x – зміщення інерційної маси ПГ відносно нульового положення; κ – коефіцієнт пружності, залежний від властивостей пружного елемента.

Сила опору руху інерційної маси:

$$F_{op} = -n \frac{dx}{dt}, \quad (3)$$

де F_{op} – сила опору руху інерційної маси; n – коефіцієнт опору (затухання).

З урахуванням наведених формул, отримаємо:

$$mg_z = -n \frac{dx}{dt} - \kappa x. \quad (4)$$

Із врахування інерційної сили кінцеве рівняння руху ПГ $F_i = m \frac{d^2 x}{dt^2}$ матиме вигляд:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + n \frac{dx}{dt} + \kappa x = -mg_z. \quad (5)$$

Надалі, двома першими складовими, будемо нехтувати через інерційність конструкції ПГ.

Рівняння руху ПГ в умовах установки на Землі, буде $g_z = -\frac{\kappa}{m} x$. В умовах роботи ПГ на ЛА

складову $m \frac{d^2 x}{dt^2}$ необхідно враховувати.

Для **другого чутливого елемента ДПГ** аналогічно кінцеве рівняння руху матиме вигляд:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + n \frac{dx}{dt} + \kappa x = -mg_z. \quad (6)$$

Як і у першому випадку, через інерційність конструкції ПГ, двома першими складовими у наступному будемо нехтувати.

Рівняння руху для ЧЕ другого каналу ДПГ в умовах установки на Землі, виглядає: $g_z = -\frac{\kappa}{m} x$.

Для **двоканального п'єзогравіметра в умовах розташування на Землі**:

$$g_z = -2 \frac{\kappa}{m} x.$$

В умовах розташування ДПГ на ЛА складову $m \frac{d^2 x}{dt^2}$ треба враховувати.

Застосувавши до виразу (1.8) перетворення Лапласа отримаємо:

$$mp^2 x(p) + npx(p) + \kappa x(p) = -2mg_z(p), \quad (7)$$

де $x(p)$ – зображення по Лапласу зміщення інерційної маси; $g_z(p)$ – зображення по Лапласу прискорення сили тяжіння уздовж осі чутливості ДПГ.

Визначимо передатну функцію $W(p)$ ДПГ по каналу ПСТ–зміщення ІМ:

$$W(p) = \frac{x(p)}{g_z(p)} = \frac{-2m}{mp^2 + np + \kappa}. \quad (8)$$

Використовуючи вираз (8) та враховуючи, що вихідна напруга ДПГ прямо пропорційна зміщенню ІМ запишемо передатну функцію ДПГ по каналу ПСТ – вихідна напруга:

$$W_{III}(p) = \frac{2K_{III}}{T_1 p^2 + T_2 p + 1}, \quad (9)$$

де $W_{III}(p)$ – передатна функція ДПГ по каналу ПСТ–вихідна напруга; K_{III} – статичний коефіцієнт передачі ДПГ; T_1 і T_2 – коефіцієнти, що визначають постійні часу об'єкта другого порядку.

Якщо розділити рівняння руху ДПГ (6) на m , то отримаємо:

$$\ddot{x} + 2 \cdot \xi \omega_0 \dot{x} + \omega_0^2 x = -2g_z, \quad (10)$$

де ξ – коефіцієнт демпфування; ω_0 – власна частота ДПГ.

Як показано у [4–6] коефіцієнт демпфірування ДПГ (п'єзоакселерометра) є нелінійною функцією, яка залежить від пружних та п'єзоелектричних властивостей ПЕ.

Перепишемо рівняння (10) у вигляді [7]:

$$m\ddot{x} + \dot{x}[2n - L \sin(\omega t + \varepsilon)] + \omega_0^2 x = N \sin \omega t, \quad (11)$$

де w_a , w_b – амплітуди вібраційних прискорень; $N = mw_b$, $L = mw_a$ – параметри вібрації.

Вважаємо, що $M(t) = 2n - L \sin(\omega t + \varepsilon)$, а $D(t) = \omega_0^2$, тоді

$$\ddot{x} + \dot{x}M(t) + D(t)x = 0, \quad (12)$$

де $D(t)$ та $M(t)$ – Т-періодичні функції.

Без зміни характеристик показників рівняння вигляду (12) можна звести до аналогічного, де $M(t) = \text{const}$. Нехай

$$\int_0^t M(t_1) dt_1 = \Psi t + M_1(t), \quad (13)$$

$$\text{де } \Psi = 2n; \quad M(t_1) = \int_0^{t_1} (M(t_1) - \Psi) dt = \frac{L}{\omega} \cos(\omega t + \varepsilon).$$

Змінюючи

$$x = e^{-\frac{1}{2} M_1(t)} x' = e^{-\frac{1}{2} \frac{L}{\omega} \cos(\omega t + \varepsilon)} x', \quad (14)$$

дістанемо

$$\ddot{x}' + 2n\dot{x}' + F(t)x' = 0, \quad (15)$$

в якому

$$F(t) = \omega_0^2 + v_0 \sin(\omega t + e + \sigma_8), \quad (16)$$

$$\text{де } \sigma_8 = \arctg \frac{\omega}{2n}; \quad v_0 = \frac{L\sqrt{\omega + 4n^2}}{2}.$$

Вираз (16) із урахуванням (11) і (15) можна записати у вигляді:

$$\ddot{x}' + 2n\dot{x}' + [\omega_0^2 + v_0 \sin(\omega t + e + \sigma_8)]x' = N \sin \omega t, \quad (17)$$

або з урахуванням параметрів: $m = 0,01 \text{ кг}$, $\varepsilon + \sigma_8 = 0$:

$$\ddot{x}' + 2\xi\omega_0\dot{x}' + (\omega_0^2 + v_1 w_b \sin \omega t)x' = 0,01 w_a \sin \omega t, \quad (18)$$

$$\text{де } v_1 = \frac{v_0}{w_b}.$$

Отже, отримано рівняння (18) типу Матьє–Хілла. Рівняння такого типу є зручним для моделювання на ЕОМ.

У рівнянні (6) складовими прискорення та швидкості будемо у подальшому нехтувати, зважаючи на інерційність ДПГ. Тоді рівняння руху АГС із ДПГ матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \kappa x = g_z - \frac{v^2}{r} + 2e \frac{v^2}{r} \left[1 - 2 \cos^2 \varphi \cdot \left(1 - \frac{\sin^2 k}{2} \right) \right] - 2\omega_3 v \sin k \cos \varphi + \\ + 2h \frac{e}{r} v \cos k \sin 2\varphi - 2 \frac{\gamma_0 h}{r} - \omega_3^2 h \cos^2 \varphi, \end{aligned} \quad (19)$$

де g_z – ПСТ вздовж осі чутливості ДПГ; r – радіус місцезнаходження ЛА; v – швидкість ЛА; e – стиск еліпсоїда; k – курс ЛА; φ – географічна широта; ω_3 – кутова швидкість обертання Землі; γ_0 – вертикальна швидкість ЛА; h – висота ЛА над еліпсоїдом.

Висновки. В результаті отримано математичну модель роботи нового ДПГ та виведено основне робоче рівняння руху автоматизованої аерогравіметричної системи із двоканальним п'єзоелектричним гравіметром. Отримане рівняння руху двоканального п'єзоелектричного гравіметру перетворене у вигляд, зручний для подальшого моделювання на ЕОМ.

Література

1. Безвесільна О.М. Технологічні вимірювання та прилади. Перетворюючі пристрої приладів: підручник / О. М. Безвесільна, Г. С. Тимчик. – Житомир: ЖДТУ, 2012. – 812 с.
2. Янчич В.В. Пьезоэлектрические датчики вибрационного и ударного ускорения : учеб. пособ. / В. В. Янчич. – Ростов-на-Дону, 2008. – 77 с.
3. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник / В. В. Кухарчук, С. Т. Володарський, В. Ю. Кучерук, В. В. Грабко. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 522 с.
4. Шарапов В.М. Пьезоэлектрические датчики / Шарапов В. М., Мусиенко М. П., Шарапова Е. В. – Москва: Техносфера, 2006. – 632 с.
5. Безвесільна О.М. Алгоритмічні методи високоточного визначення лінійних прискорень / Безвесільна О.М. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ. – 2018. – №5 (265). С. 100-105.
6. Безвесільна О.М. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин: Підручник / Безвесільна О.М., Тимчик Г.С., Подчашинський Ю.О. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – 976 с.
7. Безвесільна О.М. Вимірювання прискорень / О. М. Безвесільна. – К.: Либідь, 2001. – 261 с.

References

1. Bezvesilna O.M. Technological measurements and devices. Transforming devices: textbook / O.M. Bezvesilna, G.S Tymchyk. – Zhytomyr: ZSTU, 2012. – 812 p.
2. Yanchich V.V. Piezoelectric sensors of vibration and shock acceleration: Textbook. / V.V. Yanchich - Rostov-on-Don, 2008. - 77 p.
3. Kukharchuk V.V Fundamentals of metrology and electrical measurements: textbook / V.V. Kukharchuk, H.T. Volodarsky, V. Y. Kucheruk, V.V. Grabko.– Vinnytsia: VNTU, 2012. - 522 p.
4. Sharapov V.M. Piezoelectric sensors / Sharapov V.M, Musijenko M.P., Sharapova E.V. – Moscow: Technosphere, 2006. – 632p.
5. Bezvesilna O.M. Algorithmic methods of high-precision determination of linear accelerations / Bezvesilna O.M. // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. - 2018. - №5 (265). Pp. 100-105.
6. Bezvesilna O.M. Scientific research in the field of mechanical quantities measuring: Textbook / Bezvesilna O.M., Tymchyk G.S., Podchashinsky Y.O. – Zhytomyr: ZSTU, 2011. – 976 p
7. Bezvesilna O.M. Acceleration measurement / O.M. Bezvesilna. - K .: Lybid, 2001. - 261 p.

Надійшла / Paper received: 05.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 05.06.2020

УДК 669.296:621.785.062

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-21

В. С. ТРУШ¹, К.В. КОВТУН², В. М. ФЕДІРКО¹, О. Г. ЛУК'ЯНЕНКО¹¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України²Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій ННЦ «ХФТІ» НАН України

ДО ПИТАННЯ ПРО ВПЛИВ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ ГФЕ-1

Гафній та сплави на його основі є важливим конструкційним матеріалом для активної зони ядерних реакторів. Основною особливістю гафнію є те, що він характеризується високою здатністю поглинати нейтрони. Тому він служить основою для виготовлення регулювальних стержнів. Вище згадані вироби досить широко виготовляють з тонколистового матеріалу. Одним із кінцевих технологічних операцій виготовлення листа є гаряче пластичне деформування з наступним проведенням кінцевої штатної термічної обробки. У даній роботі показано властивості гафнієвого сплаву ГФЕ-1 після різних режимів хіміко-термічної обробки без зняття (шліфування) поверхневого шару після гарячого пластичного деформування. Обробку здійснювали за однакових температурно-часових параметрів ($T = 850^{\circ}\text{C}$, $\tau = 2 \text{ год}$), але за різного розрідження ($P = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$, $P = 1,33 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$, $P = 1,33 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$). Температурно-часові параметри обробки відповідають параметрам штатній фінішній обробці гафнієвого сплаву. У статті показано відмінності поверхні в залежності від режиму обробки робочого середовища. Відповідно до отриманих результатів досліджень хіміко-термічна обробка не призводить до істотних змін стану поверхні гафнію. Наведено хімічний склад приповерхневого шару досліджуваних зразків у вихідному стані (без хіміко-термічної обробки). Зокрема, виявлено, що у приповерхневому шарі завтовшки $\sim 5 \text{ мкм}$ від поверхні зафіксовано різний вміст кисню і металевих елементів Fe, Zr й Cr. Вміст гафнію спочатку є мінімальний (до глибини $\sim 5 \text{ мкм}$ від поверхні), а потім різко зростає до сталого значення. Тому зроблено припущення, що у вихідному стані гафнію приповерхневий шар $\sim 5 \text{ мкм}$ можна умовно класифікувати як «дефектний». Ймовірно, наявність такого шару зумовлена технологією виготовлення листа гафнію. Згідно з розподілом мікротвердості у приповерхневому шарі після різних хіміко-термічних обробок мікротвердість спочатку зростає від поверхні до глибини $\sim 5 \text{ мкм}$, а потім поступово зменшується до значення матриці. Таким чином дуометричним методом також фіксується певний «дефектний» шар з розміром $5 \dots 7 \text{ мкм}$.

Ключові слова: гафнієвий сплав, хіміко-термічна обробка, приповерхневий шар, кисень, мікротвердість.

V. TRUSH¹, K. KOVTUN², V. FEDIRKO¹, A. LUK'YANENKO¹¹Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine²Institute of Solid State Physics Materials and Technologies, NSC «Kharkov Institute of Physics and Technology» of the NAS of Ukraine

TO THE QUESTION OF THE INFLUENCE OF CHEMICAL-THERMAL TREATMENT ON THE PROPERTIES OF THE HFE-1 ALLOY

Hafnium and alloys based on it is an important structural material for the core of nuclear reactors. The main feature of hafnium is that it has a high ability to absorb neutrons. Therefore, it serves as the basis for the manufacture of control rods. The aforementioned products are widely enough made of sheet material. One of the final technological operations of sheet production is hot plastic deformation followed by the final standard heat treatment. This paper shows the properties of the GFE-1 hafnium alloy after various modes of chemical-thermal treatment without removing (grinding) the surface layer after hot plastic deformation. The treatment was carried out at the same temperature and time parameters ($T = 850^{\circ}\text{C}$, $t = 2 \text{ h}$), but in different rarefaction ($P = 1.33 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$, $P = 1.33 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$, $P = 1.33 \cdot 10^{-1} \text{ Pa}$). Temperature-time parameters of processing correspond to the parameters of standard finishing of hafnium alloy. The article shows the differences in the surface depending on the processing mode of the working environment. According to the research results, chemical-thermal treatment does not lead to significant changes in the surface state. The chemical composition of the near-surface layer of the studied samples in the initial state (without chemical-thermal treatment) is given. In particular, it is revealed that in the near-surface layer $\sim 5 \text{ }\mu\text{m}$ thick from the surface, different contents of oxygen and metal elements Fe, Zr and Cr are recorded. The hafnium content is initially minimal (to a depth of $\sim 5 \text{ }\mu\text{m}$ from the surface), and then sharply increases to a steady value. Therefore, it was assumed that in the initial. In the state of hafnium, the near-surface layer $\sim 5 \text{ }\mu\text{m}$ can be conditionally classified as «defective». Probably the presence of such a layer is due to the manufacturing technology of the letter hafnium. According to the distribution of microhardness in the near-surface layer after various chemical-thermal treatments, the microhardness first increases from the surface to a depth of $\sim 5 \text{ }\mu\text{m}$, and then gradually decreases to the value of the matrix. Thus, the durometric method also fixes a certain «defective» layer with a size of $5 \dots 7 \text{ }\mu\text{m}$.

Key words: hafnium alloy, chemical-thermal treatment, near-surface layer, oxygen, microhardness.

Вступ. Враховуючи, що гафній поглинає нейтрони, тому він служить основою для створення регулювальних стержнів та аварійного захисту ядерних реакторів [1-4]. Його функціональні властивості залежать, зокрема, від кількості поглинутих елементів проникнення (кисню, азоту вуглецю) [5-7]. Ефективним та екологічно чистим методом керуванні вмістом елементів проникнення, а відтак і регулюванням структурою та фізико-механічними властивостями є хіміко-термічна обробка (ХТО). Тому змінюючи параметри обробки (зокрема, тиск газового середовища), можна змінювати і кількість кисню, азоту, вуглецю, тощо, що проникають у метал. Перед фінішною термічною обробкою гафнієвий тонколистовий матеріал зазнає гарячого пластичного деформування [8]. Тому викликає інтерес з наукової точки зору, які властивості зразка, вирізаного з гафнієвого листа буде володіти, якщо після гарячого пластичного деформування не видаляти (не зішліфовувати) приповерхневий шар, а зразу ж піддати хіміко-термічній обробці.

Постановка завдання. Встановити вплив стану поверхневого шару перед хіміко-термічною обробкою на властивості гафнієвого сплаву ГФЕ-1.

Виклад основного матеріалу. Для досліджень обрано тонколистий (~1 мм) матеріал з гафнієвого сплаву ГФЕ-1 після пластичного гарячого деформування. З листа вирізали зразки розміром 10x15 мм. Після вирізки не видаляли поверхневий шар (мається на увазі, що після гарячого пластичного деформування з гафнієвого листа виготовляли зразки без додаткового зняття поверхневого шару).

Досліджували властивості як зразка у вихідному стані **R1** (без ХТО), так і після ХТО. ХТО гафнієвого сплаву ГФЕ-1 здійснювали за $T = 850^{\circ}\text{C}$ впродовж $\tau = 2$ год, за різного розрідження **R2** – $P = 1,33 \cdot 10^{-3}$ Па (відпал у вакуумі), **R3** – $P = 1,33 \cdot 10^{-2}$ Па, **R4** – $P = 1,33 \cdot 10^{-1}$ Па. Термічну обробку гафнієвого матеріалу виконували на лабораторному термічному обладнанні без натікання у реакційну камеру печі

Мікротвердість зразків визначали приладом ПМТ-3М за навантаження 50 г. Глибину зміцненого шару визначали металографічно та за допомогою методу мікротвердості. Металографічні дослідження гафнію у вихідному та після обробки проводили методами оптичної („Ерікуант”, „Neophot-2”) та сканувальної електронної мікроскопії (SEM – „JEOL Superprobe 733”).

Згідно з отриманими результатами досліджень ХТО не призводить до істотних змін стану поверхні гафнію (рис. 1).

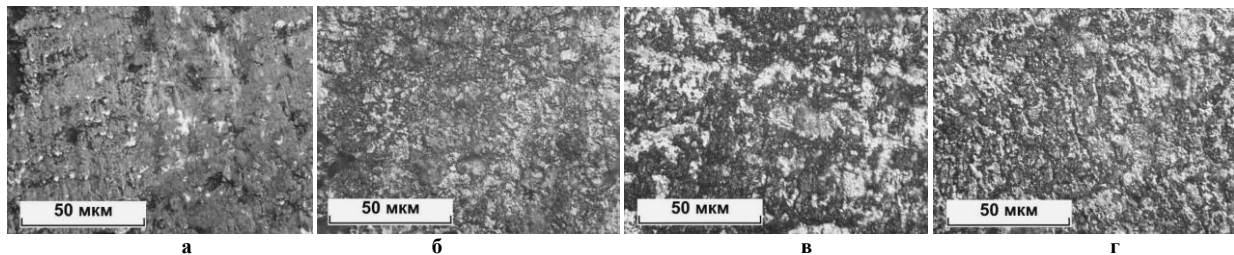


Рисунок 1 – Поверхня зразків гафнію отриманих за допомогою світлового мікроскопа у вихідному стані **P1** (а) після обробок за режимами: б – **P2**, в – **P3**, г – **P4**.

Виявлено, що ХТО зумовлює зміну на хімічний склад поверхні гафнію (табл. 1). Згідно з експериментальними результатами (табл. 3.1) обробка як у високому вакуумі $P = 1,33 \cdot 10^{-3}$ Па (режим **P2**), так і за нижчих ступенів розрідження $P = 1,33 \cdot 10^{-2}$ Па $P = 1,33 \cdot 10^{-1}$ Па (відповідно режими **P3** та **P4**) зумовлює зменшення вмісту кисню на поверхні (аналіз поверхні площею ~0,25 мм²).

Слід відмітити, що при аналізі хімічного складу поверхні серцевини (матриці) гафнію у вихідному стані (режим **P1**) площею ~0,25 мм² було виявлено, що її хімічний склад відмінний від поверхні (табл.1): матриця металу і не містить низку елементів, а саме Cr, Fe, Zr. Серцевина металу, при аналізі площі площею ~0,25 мм² містить лише гафній, вуглець та кисень, а саме: Hf – 96,23% мас. (65,87% ат.), O – 1,65% мас. (12,57% ат.), C – 2,12% мас. (21,55% ат.).

Таблиця 1

Хімічний склад поверхні гафнію після обробок

Режим обробки								
Елемент	R1(вихідний стан)		R2		R3		R4	
	Вміст елементів, %							
	Масовий	Атомний	Масовий	Атомний	Масовий	Атомний	Масовий	Атомний
C	2,40	7,24	2,06	8,18	6,19	26,36	2,82	11,52
N	0,89	2,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,41
O	28,02	63,36	17,48	52,20	11,08	35,44	15,07	46,30
Cr	0,75	0,52	0,60	0,56	0,57	0,56	1,09	1,03
Fe	24,43	15,83	30,12	25,76	22,36	20,50	30,53	26,87
Zr	10,01	3,97	-	-	-	-	-	-
Hf	33,49	6,79	49,74	13,31	59,81	17,15	50,38	13,87
Разом	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

При дослідженні розподілу хімічних елементів по перерізу гафнію у вихідному стані (режим **R1**) по лінії отримано, що у приповерхневому шарі завтовшки ~5...7 мкм від поверхні зафіксовано різний вміст кисню і металевих елементів Fe, Zr й Cr (рис. 2). Вміст гафнію спочатку є мінімальний (до глибини ~5 мкм від поверхні), а потім різко зростає до сталого значення. Отже, у вихідному стані гафнію приповерхневий шар ~5 мкм можна умовно класифікувати як «дефектний». Ймовірно, наявність такого шару зумовлена технологією виготовлення листа гафнію.

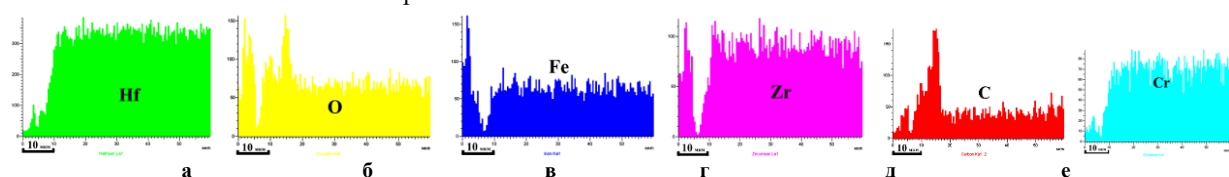


Рисунок 2 – Розподіл хімічних елементів по перерізу гафнію у вихідному стані (режим **R1**): а – гафнію, б – кисню, в – заліза, г – цирконію, д – вуглецю, е – хрому.

Твердість поверхні після різних режимів обробок змінюється. Після режиму *R1* твердість поверхні становить $HV_{0,49}=290\pm 25$, а після обробки у кисневмісній суміші $HV_{0,49}=540\pm 40$, а розмір зміцненого шару становить 15 мкм і 35 мкм відповідно. Твердість серцевини матеріалу $HV_{0,49}=220\pm 30$.

Найбільший приріст твердості поверхні $\Delta HV = 260$ зафіксовано після обробки у вакуумі $P = 1,33 \cdot 10^{-1}$ Па (режим *R4*), а найменший приріст $\Delta HV = 80$ – після обробки у високому вакуумі (режим *R2*). При обробці за режимом *R3* (ступінь розрідження технологічного середовища становив $P = 1,33 \cdot 10^{-2}$ Па) приріст твердості поверхні $\Delta HV = 255$. Глибина зміцненої зони після різних обробок майже однакова і становить 40...45 мкм.

Варто відмітити, що навіть у вихідному стані (перед ХТО) у приповерхневому шарі є наявний зміцнений шар товщиною ~ 15 мкм, приріст твердості поверхні по відношенню до серцевини становить $\Delta HV = 80$.

Поряд з тим характер зміни мікротвердості у приповерхневому шарі (рис. 3) викликає певні питання. Зокрема, у випадку утворення дифузійного шару твердість поверхні повинна бути більша або на рівні твердості приповерхневого шару, але як слідє із кривих твердість після різних обробок зростає від поверхні до глибини ~ 5 мкм, а потім поступово зменшується до значення матриці. Таким чином дюрOMETричним методом також фіксується певний «дефектний» шар з розміром 5...7 мкм.

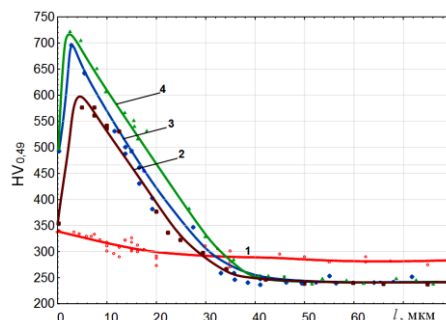


Рисунок 3 – Розподіл мікротвердості по перерізу зразків гафнію після обробок за режимами:
1– *R1* 2– *R2*, 3– *R3*, 4– *R4*

Висновки. У роботі наведено результати впливу обробки за $T = 850^\circ\text{C}$ впродовж $\tau = 2$ год за різного розрідження $P = 1,33 \cdot 10^{-3}$ Па (відпал у вакуумі), $P = 1,33 \cdot 10^{-2}$ Па, $P = 1,33 \cdot 10^{-1}$ Па на стан поверхні, твердість поверхні та розподіл твердості по перерізу зразків гафнієвого сплаву ГФЕ-1. Слід акцентувати, що зразки було вирізано з гафнієвого листа після гарячого пластичного деформування і не видалено (не зішліфовано) приповерхневий шар, а одразу ж піддано хіміко-термічній обробці. Отже, можна констатувати наступне.

1. Виявлено, що хіміко-термічна обробка за досліджуваних режимів обробок не призводить до істотних змін поверхні зразків.

2. Досліджено хімічний склад приповерхневого шару зразків у вихідному стані (без хіміко-термічної обробки) та встановлено, що у приповерхневому шарі завтовшки ~ 5 мкм від поверхні зафіксовано різний вміст кисню і металевих елементів Fe, Zr й Cr, а вміст гафнію спочатку є мінімальний (до глибини ~ 5 мкм від поверхні), а потім різко зростає до сталого значення. Тому зроблено припущення, що у вихідному стані приповерхневий шар гафнію ~ 5 мкм можна умовно класифікувати як «дефектний».

3. Показано, що мікротвердість як поверхні, так і приповерхневого шару після різних режимів обробки спочатку зростає від поверхні до глибини ~ 5 мкм, а потім поступово зменшується до значення матриці. Таким чином дюрOMETричним методом також фіксується певний «дефектний» шар з розміром 5...7 мкм.

Література

1. Азаренков Н. А., Булавин Л. А., Залюбовский И.И., Кириченко В. Г., Неклюдов И. М., Шильяев Б. А. Ядерная энергетика: учебное пособие, – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2012. 535 с.
2. Keller W. H., Development of hafnium and comparison with other pressurized water reactor control rod materials / Herbert Keller W. // Nuclear Technology. 1982, Vol. 59, P. 476— 482..
3. Pylypenko M.M. Pure metals for nuclear power / M.M. Pylypenko, S.D. Lavrimenko, P.N. V'yugov // Problems of Atomic Science and Technology, 2014 92(4). P. 72-81
4. Рисованный В.Д., Захаров А.В., Ключков Е.П. и др. Поглощающие материалы стержней управления и защиты ядерных реакторов. Ульяновск, 2012, 442 с.
5. Yamaka Sh., Ogawa H. and Miyaka M. Effect of interstitial oxygen on hydrogen solubility in titanium, zirconium and hafnium / Sh.Yamaka, H. Ogawa, and M Miyaka // Journal of the less-common metals 1991, 172-174, P 85-94.
6. Trush V.S., Fedirko V.M., O.H. Luk'yanenko, and K.V. Kovtun Optimization of the medium of thermal treatment of GFE-1 hafnium alloy / V.S. Trush, V.M. Fedirko, O.H. Luk'yanenko, and K.V. Kovtun // Materials Science, Vol. 53, No. 2, September, 2017.
7. O'Hara, A., & Demkov, A. A. Oxygen and nitrogen diffusion in α -hafnium from first principles. Applied Physics Letters, 2014. 104(21), 211909

8. Неклюдов И.М., Ажажа В.М., Ковтун К.В., и др. А.А. Васильев Подготовка производства конструкционных материалов из гафния / И.М. Неклюдов, В.М. Ажажа, К.В., Ковтун и др // Наука та інновації. 2009. Т.5. № 2. С. 23–31.

Reference

1. Azarenkov N. A., Bulavin L. A., Zalyubovskiy I.I., Kirichenko V. G., Neklyudov I. M., Shilyayev B. A Yadernaya energetika: uchebnoye posobiye, - KH.: KHNU imeni V. N . Karazina, 2012. P. 535.
2. Keller W. H., Development of hafnium and comparison with other pressurized water reactor control rod materials / Herbert Keller W. // Nuclear Technology. 1982, Vol. 59, P. 476— 482..
3. Pylypenko M.M. Pure metals for nuclear power / M.M. Pylypenko, S.D. Lavrimenko, P.N. V'yugov // Problems of Atomic Science and Technology, 2014 92(4). P. 72-81
4. Risovanyye V.D., Zakharov A.V., Klochkov Ye.P. and. Etc. Pogloshchayushchiye materialy sterzhney upravleniya i zashchity yadernykh reaktorov. 2012. P 442.
5. Yamaka Sh., Ogawa H. and Miyaka M. Effect of interstitial oxygen on hydrogen solubility in titanium, zirconium an hafnium / Sh.Yamaka, H. Ogawa, and M Miyaka // Journal of the less-common metalsm 1991, 172-174, P 85-94.
6. Trush V.S., Fedirko V.M., O.H. Luk'yanenko, and K.V. Kovtun Optimization of the medium of thermal treatment of GFE-1 hafnium alloy / V.S. Trush, V.M. Fedirko, O.H. Luk'yanenko, and K.V. Kovtun // Materials Science, Vol. 53, No. 2, September, 2017.
7. O'Hara, A., & Demkov, A. A. Oxygen and nitrogen diffusion in α -hafnium from first principles. Applied Physics Letters, 2014. 104 (21), 211909.
8. Neklyudov I.M., Azhazha V.M., Kovtun K.V., i dr. A.A. Vasil'yev Podgotovka proizvodstva konstruktsionnykh materialov iz gafniya / I.M. Neklyudov, V.M. Azhazha, K.V., Kovtun i dr // Nauka i innovatsii. 2009. T.5. № 2. P. 23-31.

Надійшла / Paper received: 15.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 05.06.2020

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ СТАБІЛІЗАТОРА

У роботі розглянуто відому методику перевірки механічних параметрів стабілізатора, що впливають на його функціонування та використовувались з початку виготовлення перших аналогових стабілізаторів і використовувались до теперішнього часу та були доволі трудомісткими. З розробкою цифрових стабілізаторів з'явилися нові можливості в частині зміни схеми-технічної побудови стабілізаторів та удосконалення методів вимірювання механічних параметрів, що зменшують та спрощують відомі методику.

Ключові слова: стабілізатор, механічні параметри.

O. BEZVESILNA

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

V. TSIRUK, V. HALYTSKYI, M. ILCHENKO

Public joint stock company «Research-and-Production association «Kyiv automatics plant»

IMPROVEMENT OF METHODS OF MEASUREMENT OF MECHANICAL PARAMETERS AFFECTING THE FUNCTIONING OF WEAPON STABILIZERS

The purpose of improving the known method of measuring the mechanical parameters of the stabilizer for BMP-2, which affects the functioning of the stabilizer. This technique was developed and implemented in practice for analogue stabilizers 2E36 and developed in the 80s of last century. The advantages and disadvantages of this technique are considered. The advantages of the known technique include the fact that the inspections made it possible to fully control the mechanical parameters. The disadvantages include the fact that many manual, time-consuming operations were used and the work on its implementation was carried out by a larger number of service personnel using a metalwork tool. Modern stabilizers based on digital element base have more opportunities to improve these methods. The proposed management methods reduce the number of manual labour-intensive operations and are performed by fewer staff. New methods of verification are introduced on the basis of known methods and do not require additional refinement of the material part of the tested stabilizers during their implementation. The implementation of methods is performed by changing the software and algorithms of the control unit and the control panel of the stabilizer. The developed techniques exclude the use of metalwork measuring instruments - dynamometers and indicators, while the correctness of the controlled parameters is determined by the operator visually by indications on digital displays. The developed technique of electronic exhibition of angular velocity sensors is performed with the help of adjusting coefficients entered from the control panel of the stabilizer and completely excludes manual laborious operations on calculation of thickness, selection and installation of washers under planes of fastening of angular velocity sensors. The proposed techniques can be used by developers of stabilizers in the control of mechanical parameters for different types of machines.

Keywords: stabilizer, mechanical parameters.

Вступ. Основою для практичного вимірювання механічних параметрів, що впливають на функціонування стабілізаторів озброєння легкої бронетехніки, була відома методика, створена на базі виробу БМП-2 [1, 2]. Ця методика була розроблена та впроваджена для аналогових стабілізаторів 2E36 у 1980-х роках. Розроблена методика мала ряд переваг та недоліків.

До переваг відомої методики можна віднести те, що вона дозволяла всебічно у повному обсязі проконтролювати механічні параметри виробу та забезпечувала стабілізаторам задане функціонування. До недоліків відомої методики можна віднести те, що використовувалось багато ручних, трудомістких операцій із застосуванням застарілих вимірювальних інструментів та технологічних пристосувань. Все це виправдовувалось застосуванням на той час у стабілізаторах аналогової елементної бази, яка не давала оперативно, без зміни апаратної частини, вносити корективи до логіки роботи системи.

З переходом до нової цифрової елементної бази [3] з використанням нових, оптико-електронних приладів спостереження за ціллю, нових цифрових заводських ліній зв'язку і програмованих мікро-процесорів стала можливою зміна логіки роботи стабілізатора шляхом перепрограмування його програмного забезпечення. З початком розробки, впровадження цифрових стабілізаторів озброєння [4] змінювались методики їх перевірок у процесі виготовлення та випробувань, але методи контролю механічних параметрів бойових модулів, до яких входили ці стабілізатори, залишилися такими, як і для аналогових стабілізаторів.

Постановка проблеми. З плином часу виникли принципово нові вимоги до методики вимірювання механічних параметрів, що впливають на функціонування стабілізаторів озброєння. Ця методика перевірок механічних параметрів модулів мала бути удосконалена у частині зменшення трудомісткості, зменшення кількості особового складу бойової машини, що їх виконував, та часу на виконання перевірок.

Актуальність даної роботи полягає у необхідності розробки та впровадження у виробництво сучасної прогресивної методики для цифрових стабілізаторів, в якій будуть застосовані сучасні методи вимірювань із скороченням кількості ручних операцій при зменшенні часу на їх виконання та зменшенні числа обслуговуючого персоналу.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Проаналізувавши відомі літературні джерела [1–16], в яких висвітлено методи вимірювання механічних параметрів, що впливають на функціонування

стабілізаторів, можна сказати, що у цих джерелах обмаль відомостей та викладено недостатньо систематизований матеріал щодо сучасних методів контролю та перевірки механічних параметрів виробу, що впливають на функціонування стабілізаторів.

У названій літературі наводяться, в основному, тільки кількісні значення деяких механічних параметрів стабілізатора та супутніх параметрів виробу (БМП). Це наступні параметри:

- моменти опору обертанню (≤ 40 кгсм для горизонтального каналу ВН та ≤ 30 кгсм для вертикального каналу);

- моменти невідновженості (≤ 3 кгсм для вертикального каналу при горизонтальному положенні блоку озброєння);

- моменти невідновженості (≤ 30 кгсм для вертикального каналу на інших кутах наведення);

- жорсткість каналів (≥ 40 кгсм/т.д. для горизонтального та ≥ 17 кгсм/т.д. для вертикального каналів), а також значення люфтів на моторних гілках наведення та значення зусиль які необхідно прикласти при вимірюванні кожного параметра.

У вказаних літературних джерелах для перевірки механічних параметрів стабілізатора запропоновано використовувати:

- динамометри, через які прикладаються до окремих частин механіки нормовані для кожного типу випробувань зусилля;

- слюсарні індикатори, за допомогою яких вимірюється переміщення частин виробу;

- використовувати ручну трудомістку працю декількох співробітників.

Однак ці технічні засоби контролю параметрів застарілі, громіздкі і вимагають значної кількості персоналу, потребують додаткового технологічного обладнання, виконуються у ручному режимі. Сьогодні для сучасних цифрових стабілізаторів використання такої методики є неприпустимим.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є удосконалення методів контролю та вимірювання механічних параметрів, що впливають на функціонування та точні параметри стабілізатора, а саме, моментів опору обертанню, невідновженостей блоку озброєння та башти, люфтів на моторних гілках управління, жорсткості каналів стабілізації.

Дані вимірювання механічних параметрів виробу будуть проводитись після встановлення стабілізатора до виробу перед налаштуванням стабілізатора у складі виробу, а також контролюватись у процесі експлуатації стабілізатора при виконанні технічного обслуговування.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. Навести та проаналізувати відому методику контролю механічних параметрів;

2. Навести нову удосконалену методику контролю механічних параметрів;

3. Проаналізувати методи контролю удосконаленої методики шляхом порівняння з відомими діючими.

Експериментальна частина. Стан вітчизняного виробництва легкої броньованої техніки (ЛБТ) характеризується стрімким переходом від:

- застарілої елементної бази з використанням транзисторів, резисторів, діодів до нової перспективної цифрової елементної бази з використанням перепрограмованих мікропроцесорів;

- аналогових ліній зв'язку, що зазнають вплив дії завад, на цифрові завадостійкі лінії зв'язку;

- оптичних засобів спостереження за цілями на оптико-електронні засоби з виводом відеозображення поля бою на РКІ-монітори (рідкокристалічні монітори);

- світлодіодної інформації на інформацію, що відображається на цифрових дисплеях;

- електромеханічних чутливих сенсорів первинної інформації на твердотільні чутливі сенсори та ін.

Це забезпечило перехід на схемо-технічні методи побудови цифрових стабілізаторів [15] замість відомих аналогових. Але на практиці, на жаль, все ще застосовуються трудомісткі методи контролю механічних характеристик блоку озброєння та башти бойових модулів, в які встановлюються стабілізатори. Це суттєво впливає на точнісні характеристики (або параметри) останніх. До цих параметрів відносяться моменти опору обертанню, точність встановлення датчиків кутової швидкості (ДКШ), моменти невідновженості, люфти, жорсткість, з якою налаштовано стабілізатор. Невідповідність цих параметрів технічним вимогам призводить до труднощів при налаштуванні стабілізатора або призводить до погіршення технічних характеристик стабілізатора та, як правило, до відсутності кучності при стрільбі ЛБТ.

Вимірювання моменту опору обертанню. До механічних величин, що суттєво впливають на точнісні параметри та функціонування приладової системи стабілізації, відноситься опір обертанню башти (не більш 40 кгсм для каналу горизонтального наведення (ГН) та блока озброєння (не більше 30 кгсм для каналу вертикального наведення (ВН)).

Відома методика вимірювання моментів опору обертанню ($M_{опор}$ (кгсм)) для БМП-2 [1, 2]

полягала у тому, що вимірювання проводилось динамометром, який закріплювали на кінці ствола ($L \approx 1,5$ м), до якого прикладалось зусилля вручну та фіксувалось його максимальне значення $P_{опор}$ (кгс), при якому башта чи блок озброєння плавно без ривків переміщується у всьому діапазоні кутів наведення: $n \times 360^\circ$ для каналу ГН та від -3° до 74° для каналу ВН. Максимальне значення моменту опору обертанню по каналу ГН визначалось за формулою:

$$M_{i\ddot{\alpha}}(\hat{\alpha}) = L(\hat{i}) \cdot P_{i\ddot{\alpha}}(\hat{\alpha}) . \quad (1)$$

Перевірки за допомогою цієї відомої методики потребували участі двох членів екіпажу, були трудомісткі, потребували додаткового спеціального технологічного оснащення для виконання робіт та виконувались у ручному режимі.

Для виключення з перевірок моменту опору обертанню ручних операцій та додаткового оснащення було уперше розроблено нову методику. Для виконання цих вимірів було відкориговане програмно-алгоритмічне забезпечення (ПАЗ) шляхом введення окремої технологічної програми виміру струмів (режим контролю струмів або РКС) споживання для кожного з каналів ВН та ГН.

При виконанні перевірки оператор за допомогою ручок пульта управління стабілізатора задає плавне наведення у всьому діапазоні кутів каналу ГН ($n \times 360^\circ$) та контролює за даними цифрового табло пульта управління значення струму споживання. При контролі струму споживання оператор фіксує його максимальне значення, яке має не перевищувати певних значень, що відповідають максимальному моменту опору обертання каналу ГН. За такою методикою перевіряється момент опору обертанню башти при нахилах корпусу виробу по курсу та крену. Як ми бачимо, у новій запропонованій методиці необхідність додаткового технологічного оснащення відсутня; ці роботи успішно виконує один оператор без виконання математичних розрахунків.

Усунення взаємовпливу каналів. Для виставки датчиків кутової швидкості (ДКШ) у виробках легкої броньованої техніки, відносно площин стабілізації, додаткові вимоги не пред'являються, але обов'язковою є операція по усуненню взаємного впливу каналів ВН та ГН один на одного.

Роботи по усуненню взаємного впливу каналів є чисто механічними операціями. Для виконання їх у відомій методиці необхідно було увімкнути стабілізатор, навести марку приціла на віддалену точку (предмет), зафіксувати значення вертикального кута на екрані монітора. Потім, за допомогою ручок пульта управління стабілізатора, на максимальній швидкості 35 % повернути башту на кут 360° , навести марку приціла по каналу горизонтального наведення на обрану раніше точку (предмет). По екрану монітора визначити вертикальний кут відхилення марки прицілу. Відхилення марки прицілу не повинне перевищувати 25 т.д. (1 тисячна відстані = 3,6 кут хв). Якщо переміщення марки прицілу більше зазначеного вгору, то необхідно встановити шайбу (набір шайб) під верхню установочну поверхню ДКШ-ВН, якщо вниз, то під нижню установочну поверхню ДКШ-ВН, у такий спосіб усунувши це переміщення. Необхідну товщину шайби (набору шайб) визначали за формулою:

$$S_{ВН} = 0,02 \times \Delta \quad (\text{мм}), \quad (2)$$

де $S_{ВН}$ – товщина шайби (набору шайб), що необхідно встановити під ДКШ-ВН, мм; Δ – переміщення виробу у площині ВН по екрану монітора, т.д.

Аналогічно у відомій методиці проводились роботи по усуненню взаємного впливу каналу ВН на канал ГН. Тільки при цьому фіксувалось відхилення каналу ГН від похідної точки при наведенні вертикального каналу з максимальною швидкістю від нижнього до верхнього упору. Якщо воно більше 3 т.д. вліво, то установкою шайб між кронштейном і верхньою настановною поверхнею ДКШ-ГН, а якщо величина переміщення башти більше 3 т.д. вправо, то – домогтись зменшення взаємовпливу установкою шайб між кронштейном та нижньою настановною поверхнею ДКШ-ГН. Необхідну товщину шайби (набору шайб) визначали за формулою:

$$S_{ГН} = 0,07 \times \Delta \quad (\text{мм}), \quad (3)$$

де $S_{ГН}$ – товщина шайби (набору шайб), що необхідно встановити під ДКШ-ГН, мм; Δ – переміщення виробу в площині ГН по екрану монітора т.д.

У новій запропонованій методиці для виключення всіх цих ручних операцій відкориговане ПАЗ цифрового блоку управління введенням до режиму налаштувань додаткової програми для усунення взаємного впливу каналів за допомогою коригувальних коефіцієнтів. Ці коригувальні коефіцієнти, залежно від каналу та напрямку відхилення марки прицілу, вводяться оператором на цифровому дисплеї пульта керування, які надходять до обчислювача блоку управління стабілізатором та зменшують взаємний вплив до нульових або до допустимих значень [16].

Таким чином, як перевагу наведеної нової методики налаштувань перед відомою методикою, зазначимо повну відсутність механічних операцій, що виконувались за допомогою гайкових ключів та технологічних шайб.

Вимірювання жорсткості приводів. У відомій методиці вимірювання жорсткості приводів ВН та ГН – одного з трьох параметрів, що разом з неплівністю наведення та кількістю перебігів при гальмуванні визначає точнісні характеристики стабілізатора, проводять два члени екіпажу за допомогою динамометра і слюсарного індикатора. Операція вимірювання жорсткості кожного з каналів виконується окремо та є громіздкою механічною роботою, результатом якої є вимірювання кута відхилення блоку озброєння (ствола гармати) при прикладанні до нього нормованого зусилля.

У методиці для перевірки жорсткості приводу ВН (див. рис. 1) необхідно виконати операції:

– встановити стійку з індикатором на башту так, щоб шуп індикатора торкався ствола кулемета на відстані 323 мм від осі обертання блоку озброєння (БО);

– прикласти зусилля не менше 20 кг у бік, протилежний виміру жорсткості, до хомута з гачком, який установлений на гармату на відстані $2,0 \pm 0,02$ м від осі обертання БО, та зменшити його до нуля вручну короткочасно і плавно;

- прикласти зусилля 15 кг у бік виміру жорсткості (подолання моменту опору обертання) до хомута через динамометр, а потім плавно збільшити його до 20 кг;
- зафіксувати різницю показань індикатора Δn за розподілами шкали слюсарного індикатора при цих зусиллях.

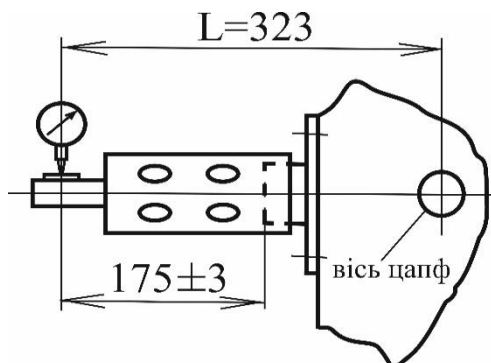


Рис. 1. Схема встановлення індикатора при вимірюванні жорсткості каналу ВН

Жорсткість привода ВН ($G_{ВН} \geq 17 \text{ кгм/т.д.}$) визначають за формулою:

$$G_{ВН} = \frac{3,23}{\Delta_n} \text{ (кгм/т.д.)} \quad (4)$$

де Δ_n – різниця показань індикатора в розподілах шкали (1 розподіл дорівнює 0,01 мм), повинна бути не менше 19 розподілів.

За аналогічною відомою методикою проводилось вимірювання жорсткості каналу ГН (рис. 2) з тією різницею, що стійка з закріпленим індикатором встановлюється на шасі виробу так, щоб щуп індикатора торкався кронштейна прожектора на відстані 900 мм від осі обертання башти.

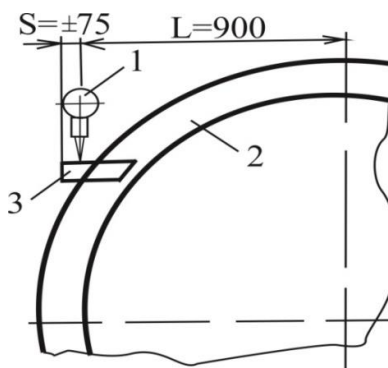


Рис. 2. Схема встановлення індикатора при вимірі жорсткості каналу ГН

Жорсткість привода ГН ($G_{ГН} \geq 40 \text{ кгм/т.д.}$) визначали за формулою:

$$G_{ГН} = \frac{25}{\Delta_n} \text{ (кгм/т.д.)} \quad (5)$$

де Δ_n – різниця показань індикатора у розподілах шкали (1 розподіл дорівнює 0,01 мм) повинна бути не менше 63 розподілів.

У новій запропонованій методиці зменшення трудомісткості виконання ручних операцій при вимірюванні жорсткості зведено до мінімуму. У цій методиці виключено з перевірок технологічну стійку з індикатором та необхідність проведення математичних розрахунків за формулами (4, 5).

Для цього на відстані 10 метрів від осі обертання башти або блоку озброєння встановлюється щит перевірки, на якому закріплена таріровочна таблиця перевірки, що має шкалу розподілу у тисячних відстані.

При проведенні випробувань жорсткості вертикального або горизонтального каналу відлік відхилення осі візування від початкового положення визначаємо по кількості розподілів по таріровочній таблиці. Для отримання необхідної жорсткості приводу виміряне значення має не перевищувати встановлених значень.

Замість щита перевірки допускається використовувати значення кутів відхилень осей каналів по екрану монітора оператора або командира, якщо точність відтворення кутів відхилення відповідає нормативним документам.

За наведеною вище методикою допускається проводити вимірювання люфтів на моторних або ручних гілках каналів горизонтального та вертикального наведення стабілізатора.

Висновки. Запропоновано та впроваджено нову описану вище більш ефективну методику удосконалення методів вимірювання механічних параметрів, що впливають на функціонування стабілізатора:

1. У відомій методиці вимірювання моментів опору обертанню вимірювання проводилось динамометром, який закріплювали на кінці ствола, до якого вручну прикладалось зусилля та фіксувалось його максимальне значення, при якому башта чи блок озброєння плавно без ривків переміщається у всьому діапазоні кутів наведення.

Перевірки за допомогою цієї відомої методики потребували участі двох членів екіпажу, були трудомісткими, потребували додаткового оснащення (спеціальних технологічних настилів) для виконання робіт та виконувались у ручному режимі.

У новій запропонованій методиці необхідність додаткових технологічних настилів відсутня; ці роботи успішно виконує один оператор без виконання математичних розрахунків. Для виконання цих вимірів було відкориговане програмно-алгоритмічне забезпечення шляхом введення окремої технологічної програми виміру струмів споживання для кожного з каналів ВН та ГН.

2. У відомій методиці усунення взаємного впливу каналів ВН та ГН один на одного виконувалось складно, з великою кількістю ручних операцій з використанням додаткових математичних розрахунків.

У новій запропонованій методиці для виключення всіх цих ручних операцій відкориговане ПАЗ цифрового блоку управління введенням до режиму налаштувань додаткової програми для усунення взаємного впливу каналів за допомогою коригувальних коефіцієнтів. Ці коригувальні коефіцієнти залежно від каналу та напрямку відхилення марки прицілу вводяться оператором на цифровому дисплеї пульта керування, які надходять до обчислювача блоку управління стабілізатором та зменшують взаємний вплив до нульових або до допустимих значень. Таким чином, як перевагу наведеної нової методики налаштувань перед відомою методикою, зазначимо повну відсутність механічних операцій, що виконувались за допомогою гайкових ключів та технологічних шайб.

3. У відомій методиці вимірювання жорсткості приводів ВН та ГН, що великим чином визначає точнісні характеристики стабілізатора, проводять два члени екіпажу за допомогою динамометра і слюсарного індикатора. Операція вимірювання жорсткості кожного з каналів виконується окремо та є громіздкою механічною роботою, результатом якої є вимірювання кута відхилення блоку озброєння (ствола гармати) при прикладанні до нього нормованого зусилля.

У новій запропонованій методиці зменшення трудомісткості виконання ручних операцій при вимірюванні жорсткості зведено до мінімуму. У цій методиці виключено з перевірок технологічну стійку з індикатором та необхідність проведення математичних розрахунків.

Таким чином, можна стверджувати, що у новій запропонованій методиці зменшення трудомісткості виконання ручних операцій при вимірюванні жорсткості зведено до мінімуму. У цій методиці виключено з перевірок технологічну стійку з індикатором та необхідність проведення математичних розрахунків за формулами. Тобто, нова методика є більш ефективною.

Дана методика може бути використана розробниками та проектувальниками стабілізаторів.

Література

1. Боевая машина пехоты БМП-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Часть. 1 [Электронный ресурс] / Министерство обороны СССР. – 1987. – Режим доступа : <http://armyman/info/books/id-44.html>.
2. Кудрявцев А.М. Стабилизаторы вооружения 2Э36 устройство и обслуживание [Электронный ресурс] / [Кудрявцев А.М., Уласевич О.К., Жеглов В.Н., Гумилев В.Ю.]. – Рязань, 2013. – Режим доступа : <http://portalnp.ru/wp-content/uploads/2014/04/KUDRYVTSEV-GUMELEV-SV-2E36pdf>.
3. Tsiрук V. Development of method of increasing accuracy of measuring angular velocity and acceleration of gyro stabilized platform / V. Tsiрук // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2018. – № 4/1 (42) . – С. 11–16.
4. Безвесільна О.М. The analytical review of existing instrumental stabilizing complexes / О.М. Безвесільна, В.Г. Цірук, Л.О. Чепюк // Технологічні комплекси. – 2018. – № 1(15). – С. 15–26.
5. Стабилизатор 2Э26М. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Альбом рисунков. – Москва : Воениздат, 84.
6. БМП-3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Часть 1 и 2 [Электронный ресурс] / Министерство обороны. – М.: Воениздат, 1998. – Режим доступа : <https://mil.in.ua/forum/viewtopic.php?t=893>.
7. Березин С.М. Комплекс вооружения БМП-3 / С.М. Березин, В.П. Конончук, А.П. Луньков, А.И. Никонов // Вестник бронетанковой техники. – 1991. – № 5.
8. Стабилизатор вооружения боевого модуля [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://findpatent.ru/patent/255/2550379.html>.
9. Автоматические системы управления вооружением : учебное пособие [Электронный ресурс] / [Лепешинский И.Ю., Варлаков П.М. и др.]. – Омск, 2009. – 266 с. – Режим доступа : mslstoryrussia.ru/forum/dowland/life.php?id=36773.
10. Безвесільна О.М. Аналіз закордонних систем наведення та стабілізації / О.М. Безвесільна, В.Г. Цірук, Л.О. Чепюк // Вісник інженерної академії України. – 2014. – № 2. – С. 155–159.
11. Цірук В.Г. Розробка методу підвищення точності вимірювання кутової локалізації та прискорення гіростабілізованої платформи / В.Г. Цірук // Технологічний аудит та резервування. – 2018. – № 4 / 1 (42). – С. 11–16.

12. Cherepansra I., Bezvesilna O., Sazonov A., Nechai S., Khylichenko T. The procedure for determining the normalization of random error of an information measuring system with elements of artificial intelligence. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017.

13. Korobiichuk I., Bezvesilna O., Kachniarz M., Tkachuk A., Chilchenko T. Two-channel MEMS gravimeter of the automated aircraft gravimetric system. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, v. 543, p. 481–487.

14. Bezvesilna O., Tkachuk A., Nechai S., Khylichenko T. Simulation of influence of perturbation parameters on the new dual-channel capacitive mems gravimeter performance. Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 2016, v. 6 (7-84), p. 50–57.

15. Цірук В.Г. Існуючі системи наведення та стабілізації / В.Г. Цірук, О.М. Безвесільна, Л.О. Чепиук // Вісник Інженерної академії України. – 2014. – № 2. – С. 8–13.

16. Цірук В.Г. Компенсація похибок та коригування положення гармати відносно цілі при сумісному швидкому русі башти та машини / В.Г. Цірук // Вісник ЖДТУ. – 2018. – № 1 (81). – С. 169–172.

References

1. Boevaya mashina pehoty BMP-2. Tehnicheskoe opisanie i instrukciya po ekspluatatsii. Chast. 1 [Elektronnyj resurs] / Ministerstvo oborony SSSR. – 1987. – Rezhim dostupa : <http://armyman/info/books/id-44.html>.
2. Kudryavcev A.M. Stabilizatory vooruzheniya 2E36 ustrojstvo i obsluzhivanie [Elektronnyj resurs] / [Kudryavcev A.M., Ulasevich O.K., Zheglov V.N., Gumilev V.Yu.]. – Ryazan, 2013. – Rezhim dostupa : <http://portalnp.ru/wp-content/uploads/2014/04/KUDRYVTSEV-GUMELEV-SV-2E36pdf>.
3. Tsiruk V. Development of method of increasing accuracy of measuring angular velocity and acceleration of gyrostabilized platform / V. Tsiruk // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2018. – № 4/1 (42). – С. 11–16.
4. Bezvesilna O.M. The analytical review of existing instrumental stabilizing complexes / O.M. Bezvesilna, V.H. Tsiruk, L.O. Chepiuk // Tekhnologichni kompleksi. – 2018. – № 1(15). – С. 15–26.
5. Stabilizator 2E26M. Tehnicheskoe opisanie i instrukciya po ekspluatatsii. Albom risunkov. – Moskva : Voenizdat, 84.
6. BMP-3. Tehnicheskoe opisanie i instrukciya po ekspluatatsii. Chast 1 i 2 [Elektronnyj resurs] / Ministerstvo oborony. – Moskva : Voenizdat, 1998. – Rezhim dostupa : <https://mil.in.ua/forum/viewtopic.php?t=893>.
7. Berezin S.M. Kompleks vooruzheniya BMP-3 / S.M. Berezin, V.P. Kononchuk, A.P. Lunkov, A.I. Nikonov // Vestnik bronetankovoj tehniki. – 1991. – № 5.
8. Stabilizator vooruzheniya boevogo modulya [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://findpatent.ru/patent/255/2550379.html>.
9. Avtomaticheskie sistemy upravleniya vooruzheniem : uchebnoe posobie [Elektronnyj resurs] / [Lepeshinskij I.Yu., Varlakov P.M. i dr.]. – Omsk, 2009. – 266 s. – Rezhim dostupa : mslstoryrussia.ru/forum/dowland/life.php?id=36773.
10. Bezvesilna O.M. Analiz zakordonnykh system navedennia ta stabilizatsii / O.M. Bezvesilna, V.H. Tsiruk, L.O. Chepiuk // Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy. – 2014. – № 2. – С. 155–159.
11. Tsyruk V.H. Rozrobka metodu pidvyshchennia tochnosti vymiriuvannia kutovoi lokalizatsii ta pryskorennia hirostabilizovanoi platformy / V.H. Tsyruk // Tekhnologichni audyt ta rezervuvannia. – 2018. – № 4 / 1 (42). – С. 11–16.
12. Cherepansra I., Bezvesilna O., Sazonov A., Nechai S., Khylichenko T. The procedure for determining the normalization of random error of an information measuring system with elements of artificial intelligence. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017.
13. Korobiichuk I., Bezvesilna O., Kachniarz M., Tkachuk A., Chilchenko T. Two-channel MEMS gravimeter of the automated aircraft gravimetric system. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, v. 543, p. 481–487.
14. Bezvesilna O., Tkachuk A., Nechai S., Khylichenko T. Simulation of influence of perturbation parameters on the new dual-channel capacitive mems gravimeter performance. Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 2016, v. 6 (7-84), p. 50–57.
15. Tsiruk V.H. Isnuichi systemy navedennia ta stabilizatsii / V.H. Tsiruk, O.M. Bezvesilna, L.O. Chepiuk // Visnyk Inzhenernoi akademii Ukrainy. – 2014. – № 2. – С. 8–13.
16. Tsiruk V.H. Kompensatsiia pokhybok ta koryhuvannia polozhennia harmaty vidnosno tsili pry sumisnomu shvydkomu rusi bashy ta mashyny / V.H. Tsiruk // Visnyk ZhDTU. – 2018. – № 1 (81). – С. 169–172.

Надійшла / Paper received: 05.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 04.06.2020

ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА (141)

УДК 621.314

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-23

І. О. ГУНЬКО

Вінницький національний технічний університет

**АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ
ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ**

Ознакою сьогодення є швидкі темпи інтелектуалізації електроенергетичних систем в різних країнах світу. Перед науковцями та інженерами постають нові задачі, пов'язані з розбудовою, удосконаленням, інтегруванням відновлюваних джерел енергії, прогнозуванням виробітку електроенергії, покращанням показників якості електроенергії та надійності електропостачання тощо в енергетичному секторі країни. Для виконання цих завдань необхідно знати відповідні обчислювальні інструменти для проведення дослідів в цій галузі. В статті розглянуто сучасні програмні засоби для моделювання режимів роботи електроенергетичної системи та наведено приклад роботи в одному з них для розв'язання задачі дослідження показників якості електроенергії в мережі з розподіленим генеруванням.

Ключові слова: програмні забезпечення, електричні мережі, режими роботи, розподілене генерування.

I. HUNKO

Vinnytsia National Technical University

ANALYSIS OF SOFTWARE FOR MODELLING OF OPERATING MODES OF ELECTRICAL SYSTEMS

Today, a characteristic feature of the energy sector is the transition from a system based on fossil fuels to systems running on renewable energy sources. The speed of change and the effectiveness of individual governments' decisions to develop and implement energy sustainability policies depend on countries and their level of economic growth. The World Energy Council supports these changes in the energy sector. In the future, each country's energy systems are expected to undergo significant changes. Distributed generation facilities will displace fossil fuel power plants. It is known that power plants running on renewable energy sources usually have an unstable generation schedule, in addition, they are distributed at different points in the electrical network, which complicates the control system of electricity flows in such systems.

The purpose of the article is to analyze the functionality, industries and features of application of various software for solving electrical problems. A sign of today is the rapid pace of intellectualization of power systems in different countries. Scientists and engineers face new challenges related to the development, improvement, integration of renewable energy sources, forecasting electricity generation, improving electricity quality and reliability of electricity supply, etc. in the country's energy sector. To perform these tasks, it is necessary to know the appropriate computational tools for conducting experiments in this field. The article considers modern software for modelling the modes of operation of the power system and performs a brief comparative analysis of their capabilities. There is also an example of work in one of them to solve the problem of studying the quality of electricity in a network with distributed generation. The obtained results can be used by industry engineers or researchers in choosing software to solve the problem.

Keywords: software, electrical networks, operating modes, distributed generation.

Вступ. На сьогодні характерною ознакою енергетичної галузі є перехід від системи, що базується на викопному паливі до систем, що працюють на відновлюваних джерелах енергії. Швидкість змін і ефективність рішень окремих урядів щодо розробки та впровадження політики щодо забезпечення енергетичної стійкості залежить від країн та рівня їх економічного зростання [1]. Всесвітня рада з питань енергетики підтримує ці зміни в галузі енергетики. В майбутньому очікується, що енергосистеми кожної країни пройдуть через істотні зміни. Об'єкти розподіленого генерування витіснятимуть електричні станції, що працюють на викопному паливі. Відомо, що електричні станції, що працюють на відновлюваних джерелах енергії зазвичай мають нестабільний графік генерування, до того ж вони розподілені в різних точках електричної мережі, що ускладнює систему керування потоками електроенергії в таких системах [2–5]. Окрім, того як зазначається в [7] також останній часом різко зріс попит на електромобілі. Отже зростає кількість та потужність зарядних станцій для цих авто по всій території країни. Також процеси урбанізації міст, розвитку нових технологій і виробництва, призводить до зростання складності систем електропостачання.

Отже, перед енергетикою постають нові задачі, а саме забезпечення стабільності мережі, підтримуючи і допустимих значенням показники якості електроенергії, з урахуванням двонаправлених перетоків потужності в розподільних мережах з нестабільним графіком генерування наявних РДЕ та нестабільним графіком навантаження. Тому виникає необхідність вивчення процесів, що відбуваються в електричних мережах за нових умов функціонування, шляхом виконання комп'ютерного моделювання. На сьогодні на ринку програмних засобів є безліч інструментів для виконання моделювання процесів в електричних мережах. Перед інженером та науковцем постає складна задача, яку саме програму використати для вирішення поставленої задачі. Тому в статті проаналізовано основні програми, що застосовуються для моделювання режимів роботи електроенергетичної системи, починаючи від виробництва, передачі та розподілу до споживання електроенергії.

Проведений аналіз показано в таблиці 1. Так, на сьогодні універсальними, зі зручними інтерфейсами, зрозумілими та з широкими можливостями є такі програми, як Simulink інтегрований в MatLAB (The MathWorks) [8], PowerFactory [9], PSCAD [10], PSS/E [11], що дозволяють виконати

моделювання електричних мереж з ВДЕ та дослідити показники якості електроенергії та стабільності роботи мережі. Також є спеціалізовані програми, такі як WindSlim та SolarPro, спрямовані на моделювання та прогнозування виробітку електроенергії вітровими та фотоелектричними станціями відповідно, а також дозволяють на основі технічних характеристик елементів станцій та статистичних метеорологічних параметрів оцінити економічну ефективність проектів, оптимізувати розміщення тощо.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз різних програмних засобів

Програма	Інструменти моделювання							
	1	2	3	4	5	6	7	8
PowerFactory		+		+		+	+	+
PSCAD	+	+	+	+	+	+	+	+
PSS/E		+		+		+	+	+
WindSim		+						
OptiPower		+		+				
Solar Pro		+		+				
IPSE Pro	+	+						
ATP		+	+	+	+	+		+
EDSA Paladin Toolkit		+	+	+	+	+	+	+
Open DSS		+	+	+	+		+	+
ETAP tool kit		+	+	+	+	+	+	+
GYM toolkit		+	+	+	+		+	+
POM Applications Suit		+		+				+
AUTODESK Substation Desing			+	+	+			
Grid LAB-D		+		+				+
Power World Simulator		+	+	+				+
ASPEN Toolkit		+	+	+	+	+	+	+
PowerCAD, Windis			+	+	+	+	+	+
EMTP-RV		+	+	+		+	+	+
Easy Power Suites						+	+	+
GYMGRID					+			+
Cable Pro					+	+		
Bentley Substation			+	+	+	+		+
POM Applications Suit				+				+
Grid Spice		+	+	+	+	+	+	+
IPSA		+	+	+	+	+	+	+
MATLAB Simulink	+	+	+	+	+	+	+	+
Графсканер			+	+	+	+		+

* лише BEC; ** лише CEC

1 – моделювання теплових електростанцій; 2 – відновлюваних джерел енергії; 3 – підстанцій, трансформаторів, заземлюючих пристроїв; 4 – систем передачі та розподілу електроенергії; 5 – повітряних та кабельних ліній електропередачі; 6 – розподільних пристроїв та систем захисту; 7 – якості електроенергії; 8 – перетоків потужності та коротких замикань.

Так, зокрема, однією з важливих задач є оптимальне інтегрування об'єктів розосередженого генерування в розподільні мережі для дослідження показників якості електричної енергії в ній.

Моделювання роботи електричної мережі з РДЕ в PSCAD. PSCAD є швидкодіючим, точним та простим для розуміння та використання програмним комплексом для моделювання роботи енергосистем і силових електронних перетворювачів при їх проектуванні, аналізі їх роботи, оптимізації та верифікації. Програма PSCAD має широкую бібліотеку елементів та компонентів для аналізу режимів роботи об'єктів електроенергетичної системи.

Бібліотека містить близько 300 компонентів, які можна розділити на такі групи: пасивні елементи; джерела електроенергії; вимикачі; елементи силової електроніки; трансформатори; електричні машини; ЛЕП і кабелі; елементи релейного захисту; експорт та імпорт даних; логічні функції; елементи створення сценаріїв поведінки моделі; фільтри та ін.

В програмному середовищі PSCAD розроблено комп'ютерну модель електричної мережі 110/10/0,4 кВ (рис. 1) з метою дослідження впливу об'єктів розосередженого генерування на параметри режиму мережі та показники якості електроенергії в ній (див. рис. 2).

Елементна база програмного середовища дозволяє використовувати як готові елементи, такі як фотоелектричні установки, вітротурбінні і т.п., так і створювати ці елементи самостійно. Модуль моделювання перехідних процесів EMTDC™ дозволяє дослідити як змінюватимуться показники якості електроенергії в перехідні режими роботи мережі, зокрема, включення/відключення потужних фотоелектричних станцій, відсутність живлення від головної підстанції, автоматичне введення резерву та ін.

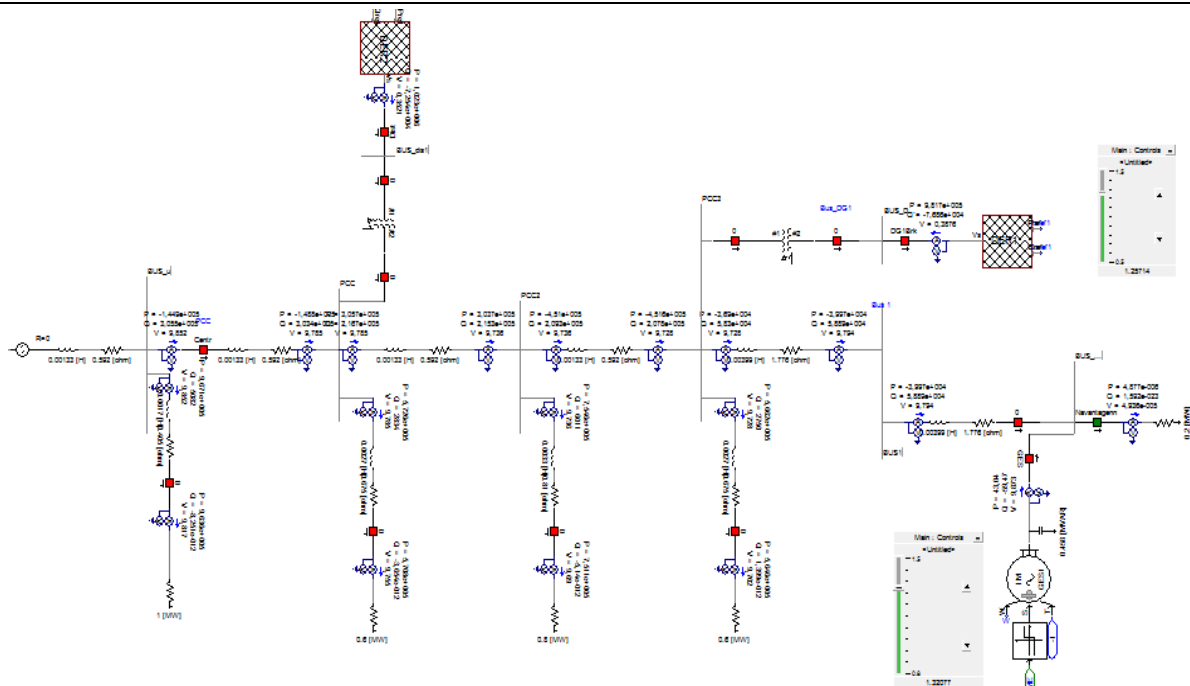


Рис. 1. Модель електричної мережі з об'єктами розосередженого генерування

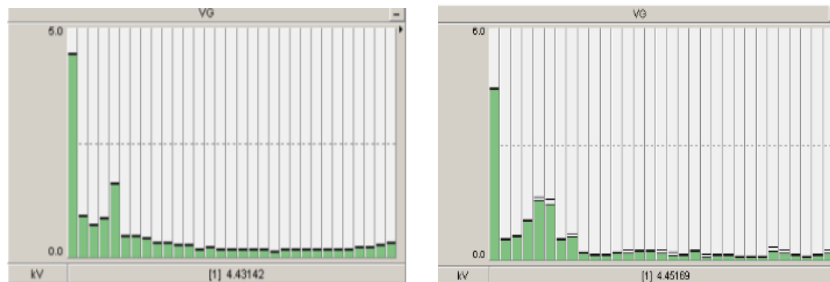


Рис. 2. Спектр гармонійних складових в напрузі на шинах ФЕС

Висновки. На сьогодні на ринку програмних засобів існує багато комплексів для моделювання режимів роботи електроенергетичної системи, аналізу роботи як окремих елементів, так і частин системи в цілому. В статті виконано аналіз найбільш поширених програм, їх можливостей та галузей застосування. Результати аналізу можуть бути корисними як інженерам галузі, так і науковцям і дослідникам, так як дозволяють заощадити час для вибору програмного засобу для розв'язання поставленої задачі.

Література

1. Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019>.
2. Матвійчук В.А. Особливості електропостачання потужних підприємств АПК з використанням нейромереж та розподілених джерел електроенергії / В.А. Матвійчук, О.Є. Рубаненко, О.О. Рубаненко // Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: технічні науки. – 2015. – № 2 (90). – С. 117–123.
3. 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.
4. Блінов І.В. Короткостроковий інтервальный прогноз сумарного відпуску електроенергії виробниками з відновлюваних джерел енергії / І.В. Блінов, В.О. Мірошник, П.В. Шиманюк // Праці інституту електродинаміки НАН України. – 2019. – № 54. – С. 5–12.
5. Рубаненко О.О. Мікроелектромережі як засіб підвищення надійності електропостачання підприємств в АПК / О.О. Рубаненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2016. – № 175. – С. 43–45.
6. Кучанський В.В. Заходи та засоби підвищення надійності та якості електропостачання в електроенергетичних системах з відновлюваними джерелами енергії / В.В. Кучанський, А.Б. Нестерко, І.О. Гунько // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 196 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків : ХНТУСГ, 2018. – С. 41–43.

7. Sree Lakshmi G., Rubanenko O., Hunko I. Renewable Energy Generation and Impacts on E-Mobility, Journal of Physics: Conference Series, 2020 J. Phys.: Conf. Ser.1457 012009. P. 1–8.
8. Mathworks. MatLab. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
9. DiGSILENT PowerFactory Software. URL: <https://www.digsilent.de/en/>. Accessed on: Apr. 2020.
10. EMTDC, PSCAD. URL: <https://hvdc.ca/pscad>. Accessed on: Apr. 2020.
11. PSS PDMS. URL: www.siemens.com. Accessed on: Apr. 2020.

References

1. Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2019 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019>.
2. Matviichuk V.A. Osoblyvosti elektropostachannia potuzhnykh pidpriemstv APK z vykorystanniam neiromerezha ta rozpodilenykh dzherel elektroenerhii / V.A. Matviichuk, O.Ie. Rubanenko, O.O. Rubanenko // Zbirnyk naukovykh prats VNAU. Seria: tekhnichni nauky. – 2015. – № 2 (90). – S. 117–123.
3. Rubanenko O.O. Analiz roboty VDE v rozpodilnykh mrezhakh ta shliakhy kompensatsii yikh nestabilnosti / O.O. Rubanenko, V.P. Yanovych, I.O. Hunko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2019. – № 5. – S. 176–179.
4. Blinov I.V. Korotkostrokovyi intervalnyi prohnaz sumarnoho vidpusku elektroenerhii vyrobnykamy z vidnovliuvanykh dzherel enerhii / I.V. Blinov, V.O. Miroshnyk, P.V. Shymaniuk // Pratsi instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy. – 2019. – № 54. – S. 5–12.
5. Rubanenko O.O. Mikroelektromerezhi yak zasib pidvyshchennia nadiinosti elektropostachannia pidpriemstv v APK / O.O. Rubanenko // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka. Tekhnichni nauky. «Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy». – 2016. – № 175. – S. 43–45.
6. Kuchanskyi V.V. Zakhody ta zasoby pidvyshchennia nadiinosti ta yakosti elektropostachannia v elektroenerhetychnykh systemakh z vidnovliuvanykh dzherelamy enerhii / V.V. Kuchanskyi, A.B. Nesterko, I.O. Hunko // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. Tekhnichni nauky. Vypusk 196 "Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy". – Kharkiv : KhNTUSH, 2018. – S. 41–43.
7. Sree Lakshmi G., Rubanenko O., Hunko I. Renewable Energy Generation and Impacts on E-Mobility, Journal of Physics: Conference Series, 2020 J. Phys.: Conf. Ser.1457 012009. P. 1–8.
8. Mathworks. MatLab. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
9. DiGSILENT PowerFactory Software. URL: <https://www.digsilent.de/en/>. Accessed on: Apr. 2020.
10. EMTDC, PSCAD. URL: <https://hvdc.ca/pscad>. Accessed on: Apr. 2020.
11. PSS PDMS. URL: www.siemens.com. Accessed on: Apr. 2020.

Надійшла / Paper received: 09.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020

КОРПУСКУЛЯРНО-ВИХОР-ХВИЛЬОВИЙ СИНТЕЗ РЕЧОВИНИ З ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Встановлені фізичні механізми корпускулярно-вихор-хвильового синтезу речовини з теплового випромінювання в гетерогенних системах: технічних, космічних, псевдоелементарних, біологічних. Для описання взаємоузгоджених комплексів збурень поля теплового випромінювання та поля швидкостей матеріального середовища використаний метод квазічастинок. Наведена схема високотемпературної трансформації таких комплексів у стабільні та квазістабільні частинки речовини, пов'язана зі спонтанним порушенням антисиметрії системи. Розрахований спектр мас стабільних та квазістабільних псевдоелементарних частинок. Визначено характер сильної взаємодії як сукупності двох квантовомеханічних взаємодій – обмінної (відштовхування) та спин-орбітальної (притягання). Ці взаємодії здійснюються контактним - шляхом перекривання хвильових функцій двох ферміонів та не потребують спеціальних носіїв, що цілком суперечить поширеній на сьогодні Стандартній моделі фундаментальних взаємодій (SM). Проведений порівняльний аналіз експериментальних результатів в галузях контактної трибодинаміки та фізики колайдерів, який безпосередньо підтверджує запропоновані фізичні механізми. Наведено нове фізичне пояснення явищ кавітації, сонолюмінесценції, «холодного» ядерного синтезу, біологічної трансмутації ізотопів, мітогенетичного випромінювання. Розглянуті процеси корпускулярно-вихор-хвильового синтезу речовини з гравітаційного теплового випромінювання в космічних системах різного рівня ієрархії, що заперечують ідею Великого вибуху та необхідність темної матерії для пояснення динаміки цих систем. Розрахований спектр мас квазістабільних космічних об'єктів. Зроблені перші чисельні оцінки гравітаційного макроаналога Y сталої Планка $\hbar$.

Ключові слова: електромагнітне теплове випромінювання, гравітаційне теплове випромінювання, речовина, корпускулярно-вихор-хвильовий термокомплекс, контакт, квазічастинки, хітони, сильна взаємодія, спектр мас, енергетичний каскад, колапс, спіральність.

Yu. ZASPA
Khmelnyskyi National University

CORPUSCULAR-VORTEX-WAVE SYNTHESIS OF MATTER FROM THERMAL RADIATION

The physical mechanisms of corpuscular-vortex-wave synthesis of a matter from thermal radiation in heterogeneous systems: technical, space, pseudo-elementary, biological are established. The method of quasiparticles was used to describe mutually agreed complexes of perturbations of the thermal radiation field and the velocity field of the material medium. The scheme of high-temperature transformation of such complexes into stable and quasi-stable particles of matter, associated with spontaneous violation of the antisymmetry of the system, is given. The mass spectrum of stable and quasi-stable pseudo-elementary particles is calculated. The nature of strong interaction as a set of two quantum mechanical interactions - exchange (repulsion) and spin-orbit (attraction) is determined. These interactions are carried out by contact by overlapping the wave functions of the two fermions and do not require special carriers, which is completely contrary to the now common Standard Model of Fundamental Interactions (SM). The comparative analysis of experimental results in the fields of contact tribodynamics and collider physics is carried out, which directly confirms the proposed physical mechanisms. A new physical explanation of the phenomena of cavitation, sonoluminescence, "cold" nuclear fusion, biological transmutation of isotopes, mitogenetic radiation is given. The processes of corpuscular-vortex-wave synthesis of matter from gravitational thermal radiation in space systems of different levels of hierarchy are considered, which deny the idea of the Big Bang and the need for dark matter to explain the dynamics of these systems. The mass spectrum of quasi-stable space objects is calculated. The first numerical estimates of the gravitational macroanalogue Y of Planck's constant $\hbar$ are made.

Keywords: electromagnetic thermal radiation, gravitational thermal radiation, matter, corpuscular-vortex-wave thermocomplex, contact, quasiparticles, heatons, strong interaction, mass spectrum, energy cascade, collapse, helicity

Вступ. Природа маси – головна й досі не вирішена проблема сучасної фізики [1, 2]. Ця невирішеність породжує множину непорозумінь та ілюзій – від глюонів та кварків до Великого вибуху, чорних дір і темної матерії [3–20]. Відкладаючи на другий план аналіз цих непорозумінь, відмітимо прямий зв'язок маси з тепловим випромінюванням у гетерогенних системах: технічних, космічних, псевдоелементарних, біологічних [21]. Проблема самого теплового випромінювання, з якої почався розвиток квантової фізики, в свою чергу, виявляється далеко не вичерпаною. Звернемо увагу на зв'язок теплового випромінювання з макроскопічними формами руху матерії. Як відомо, рівноважне теплове випромінювання сумісне лише з двома найпростішими формами – рівномірним рухом тіла як цілого та твердотільним обертанням з постійною кутовою швидкістю [22]. Динамічна контактна взаємодія деформівних твердих тіл суттєво розширює види мезоскопічних та макроскопічних рухів різноманітними вихор-хвильовими формами. Це потребує відповідної топологічної трансформації теплового випромінювання при взаємодії з такими формами. Суттєвим є також розмірний фактор. Перехід від взяття суми до інтегрування у спектральній формулі Планка можливий лише для достатньо великих об'ємів [22], розміри яких, вочевидь, значно перевищують характерну довжину хвилі, що відповідає екстремуму спектру згідно з законом Віна [1, 2]. В той же час, для звичайних температур ці розміри мають мікронний масштаб, що відповідає, наприклад, просторовим градієнтам напружень, швидкостей і температур у контактних трибосистемах. Це потребує відповідного взаємоузгодження поля швидкостей матеріального середовища та

поля теплового випромінювання як у трибосистемах, так і в значно менших масштабах атомів, ядер та псевдоелементарних частинок. З цим пов'язана ще одна фундаментальна проблема сучасної фізики – природа сильної і слабкої взаємодій, що домінують на двох останніх масштабах. Поширена на сьогодні т. з. Стандартна модель фундаментальних взаємодій (SM) [3–6] зводить їх до обміну калібрувальними бозонами, підміняючи таким чином не тільки зміст, але й саме значення словосполучення «обмінна взаємодія». Як відомо, у квантовій механіці воно відповідає не обміну носіями взаємодії, а перестановці місцями двох тотожних частинок, або ж квазічастинок [1, 2]. Ця квантовомеханічна обмінна взаємодія є прямою та по суті здійснюється контактено – шляхом перекриття хвильових функцій (хвиль де Бройля). Як буде доведено нижче, саме обмінна взаємодія в парі з іншим видом прямих взаємодій – спин-орбітальною взаємодією – визначають структуру маси мікрочастинок. Сама ж маса, як не дивно це виглядає в контексті SM, формується безпосередньо з теплового випромінювання в результаті високотемпературного фазового переходу, пов'язаного зі спонтанним порушенням антисиметрії в системі.

Такого роду механізми мають не тільки загальнофізичне, але й суто технічне значення. Перерахуємо лише деякі з пов'язаних технічних проблем: катастрофічні режими бафтингу, флаттеру та колапсу в ядерній енергетиці (Чорнобильська катастрофа) [23] та в гідроенергетиці (Саяно-Шушенська катастрофа) [23], технічні невдачі в галузі керованого термоядерного синтезу (периферійні зриви реакції синтезу) [22], фретинг та водневе зношування в триботехніці [24], руйнування матеріалів, тріщиноутворення, кавітація та ін.

Встановлення природи маси та механізмів контактеного синтезу хімічних елементів поміж іншого привертає увагу до фізичної тематики, зухвало зарахованої дилетантською критикою до розряду «псевдонауки»: «холодного» ядерного синтезу [25–28], біологічної трансмутції ізотопів [29, 30], мітогенетичного випромінювання [31]. Врешті відмітимо безпосередній зв'язок електромагнітної маси з гравітаційною та наявність у природі гравітаційного теплового випромінювання [21]. Як буде доведено, збурені форми такого випромінювання, взаємоузгоджені з відповідними формами поля швидкостей матеріального космічного середовища, обумовлюють наявні відхилення від кеплерових форм руху у космосі, штучно пов'язані сучасними стандартними космологічними моделями з темною матерією і темною енергією [9–17].

Метою роботи є встановлення фізичних механізмів корпускулярно-вихор-хвильового синтезу речовини з тепловим випромінюванням, розрахунок спектру мас псевдоелементарних частинок та спектру мас космічних об'єктів, а також технічне застосування отриманих фізичних результатів

Фізична модель та її експериментальна верифікація. Для опису трансформації рівноважного теплового випромінювання при взаємодії з вихор-хвильовими формами руху речовини використаємо метод квазічастинок як колективних збурень основної рівноважної форми. Ці квазічастинки іменуватимемо хітонами (heaton) [21], а взаємоузгоджені комплекси хітонів зі збуреннями поля швидкостей матеріального середовища – корпускулярно-вихор-хвильовими термокомплексами або ж тріонами (trione) [21].

Хітони характеризуються наступними співвідношеннями:

$$E = \pm \vec{p} \cdot \vec{v} \quad \vec{p} = \hbar \vec{k}. \quad (1, 2)$$

Тут E , $\vec{p}$, $\vec{v}$, $\vec{k}$ – відповідно енергія, імпульс, швидкість та хвильовий вектор, $\hbar$ – постійна Планка. Знаки «плюс»–«мінус» в (1) відповідають двом можливим напрямкам часу. Ця двозначність також розглядається в контексті антисиметрії електромагнітного та гравітаційного полів [32]. Підставляючи (2) в (1), отримаємо:

$$E = \pm \hbar \vec{k} \cdot \vec{v} = \hbar \omega \quad \omega = \pm \vec{k} \cdot \vec{v} \quad (3, 4)$$

де ω – циклічна частота збурень. Їх групова швидкість становить:

$$\vec{v}_{gr} = \frac{\partial E}{\partial \vec{p}} = \frac{\partial \omega}{\partial \vec{k}} = \pm \vec{v}. \quad (5)$$

Введемо корпускулярно-вихор-хвильову масу m хітонів наступним чином:

$$\vec{p} = m \vec{v} = \hbar \vec{k} \quad (6)$$

В такому випадку з (1–6) слідують еквівалентні співвідношення для енергії:

$$E = \hbar \omega = \pm m (\vec{v})^2 = \pm \frac{\hbar^2}{m} (\vec{k})^2 = \pm \frac{(\vec{p})^2}{m}. \quad (7)$$

Зауважимо, що фотони рівноважного теплового випромінювання розглядаються в поперечному калібруванні потенціалів електромагнітного поля [33], яке зануляє енергію в (3), (7). Таким чином, хітони виступають тепловими збудженнями поля випромінювання щодо цього основного стану з нульовою енергією. Введення маси згідно з (6) фактично відображає колінеарність векторів $\vec{v}$ та $\vec{k}$.

Спін хітонів приймається напівцілим: $S=1/2$ (в одиницях $\hbar$), спіральність (проекція спіну на імпульс) може приймати два значення: $\lambda_s = \pm 1/2$. Групова швидкість хітонів нічим не обмежена, що

відповідає гідродинамічно-хвильовому калібруванню потенціалів в рівняннях Максвелла [32], суттєво відмінному від калібрування Лоренца [33].

Аналіз спектрів контактено-наведених акустичних збуджень в трибосистемах (рис. 1, 2) доводить, що вони містять характерні хітонні компоненти, стабілізовані по довжині хвилі, яка відповідає максимуму у спектрі рівноважного теплового випромінювання:

$$\frac{2\pi}{k_m} = \lambda_m = \frac{b}{T} = \frac{hc}{4,965kT} . \quad (8)$$

Тут k_m, λ_m – відповідно хвильове число та довжина у максимумі спектру, h, k, b – постійні Планка, Больцмана та Віна, c – швидкість світла у вакуумі, T – абсолютна температура. Підставляючи квадрат хвильового числа з (8) у (7), отримаємо частоти $\nu = \omega/2\pi$ характерних хітонних компонент акустичних спектрів [21]:

$$\nu = \frac{(4,965kT)^2}{hmc} \quad (9)$$

Зокрема, на рис. 1 виразно проявлені височастотні флаттерні компоненти ($\nu \approx 2,7$ кГц, $m=2$ а.о.м., $T \approx 340^\circ\text{K}$ на рис. 1а) та ($\nu \approx 5,6$ кГц, $m=1$ а.о.м., $T \approx 350^\circ\text{K}$ на рис. 1б). На рис. 2, запозиченому з роботи [34], чітко виділяється пік на частоті $\nu \approx 100$ кГц при $m=1$ а.о.м. та температурі $T \approx 1460^\circ\text{K}$, дещо нижчій температурі плавлення сталі.

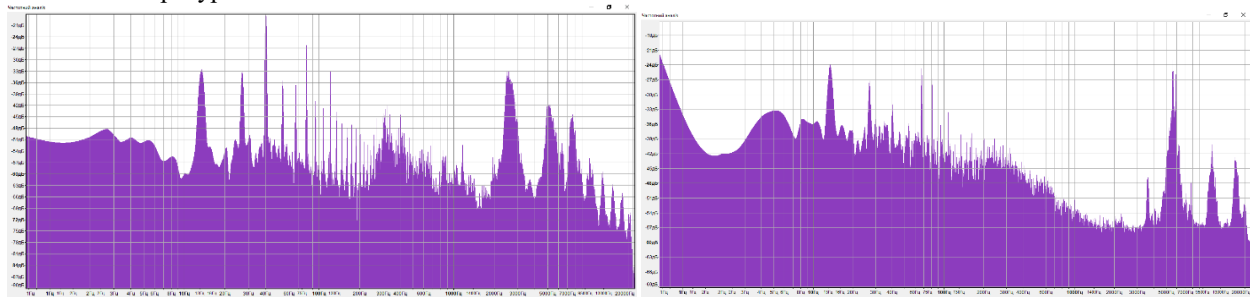


Рис. 1. Спектри акустичної емісії при різанні негартованої сталі 40X13 (а) та гартованої сталі 12X18H12T (б) в динамічно-навантажених режимах флаттеру-бафтингу

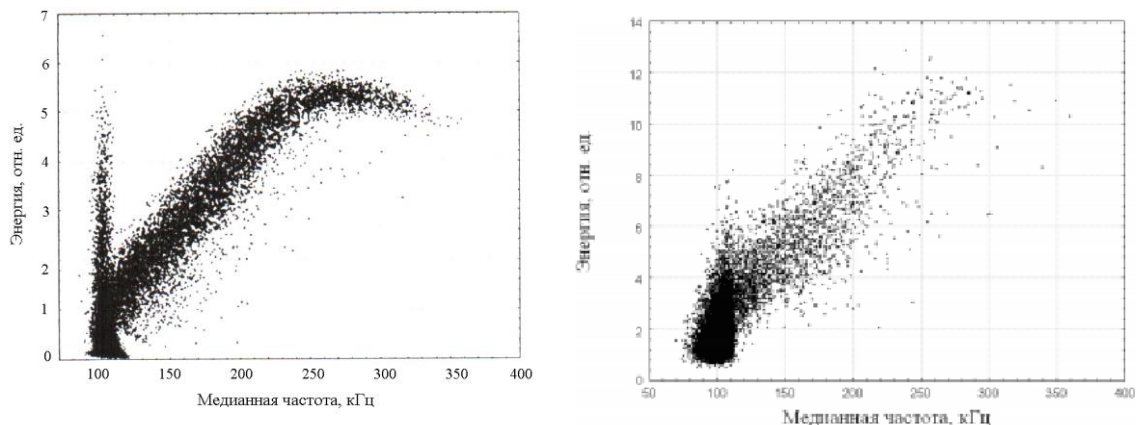


Рис. 2. Залежності енергії акустичного сигналу від медіанної частоти при терті трибопари кулька–диск з навантаженням на кульку 2Н (а) та 3Н (б) [34]

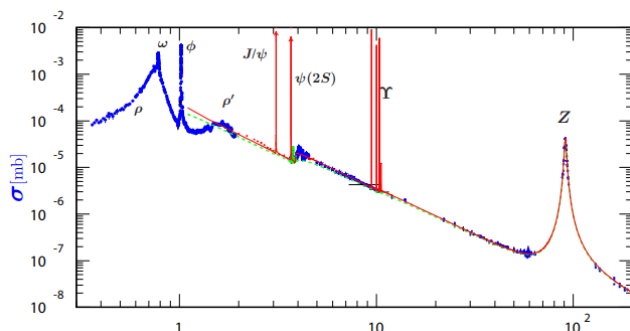


Рис. 3. Спектри розсіяння електронів на позитронах у зустрічних пучках [35]

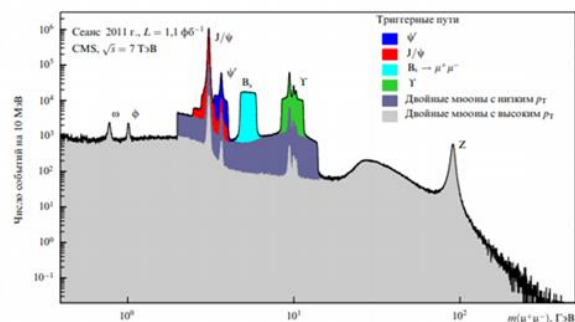


Рис. 4. Спектри інваріантних мас подвійних мюонів, отримані в експериментах на Великому адронному колайдері [4]

Для порівняння на рис. 3, 4 наведені цілком подібні за структурою (щодо рис.1,2) емісійні спектри з відомих експериментів на електрон-позитронних та протон-протонних колайдерах [4, 35]. Правий

високочастотний пік на цих спектрах, який SM виділяє в особливий калібрувальний z -бозон з енергією ≈ 91 GeV, в дійсності відповідає хітонному резонансу на протонах ($m=m_p$) при температурі $T \approx 21,6 \cdot 10^{12}$ °K згідно зі співвідношенням (9). Одйозний бозон Хіггса, який тримає на собі всю Стандартну модель фундаментальних взаємодій [3–5], являє собою другорядний хітонний пічок з енергією ≈ 125 GeV при $T \approx 25,3 \cdot 10^{12}$ °K (навіть не проявлений на рис. 4 правіше z -резонансу). Вказана температура вельми близька до характерної температури «плавлення» (термодекструкції) протонів, яка на основі аналізу спектрів оцінюється нами у $(26-27) \cdot 10^{12}$ °K. Вона на порядок перевищує оціночні значення температур у гіпотетичній «хромоплазмі» («кварк-глюонній плазмі»), якою зазвичай моделюють процеси, що супроводжують зіткнення іонів [1, 7, 8].

Тепловий характер спектрів з колайдерів прямо підтверджується наявністю дещо розмитого характерного піку при енергії ≈ 29 GeV (рис.4), що сором'язливо замовчується шукачами бозону Хіггса [3, 4]. При заданій вже температурі протонного середовища $T \approx 21,6 \cdot 10^{12}$ °K він відповідає другорядній за значенням стабілізації довжини хвилі хітонів по максимуму за частотою (а не за довжиною хвилі) у спектрі рівноважного теплового випромінювання: $\lambda'_m = c / \nu_m$. Цей максимум зміщений вгору за довжиною хвилі щодо вже згаданого максимуму на λ_m згідно з добре відомим співвідношенням [22]:

$$\frac{\lambda'_m}{\lambda_m} = \frac{4,965}{2,822}. \quad (10)$$

Враховуючи (8–10), отримаємо енергію згаданого розмитого піку:

$$91 \text{ GeV} \cdot \left(\frac{2,822}{4,965} \right)^2 \approx 29 \text{ GeV}.$$

Триботехнічний (рис. 2) та колайдерний (рис. 4) спектри хітонних збурень вельми близькі, не зважаючи на те, що їх розділяє одинадцять порядків величини за абсолютною температурою. З (7–9) слідує вираз для відносної групової швидкості хітонних збурень з довжиною хвилі λ_m :

$$\frac{v}{c} = \frac{4,965kT}{mc^2} \quad (11)$$

До прикладу, відносна групова швидкість акустичних хітонів для флаттерного піку ($v \approx 5,6$ кГц) на рис. 2б становить $v/\tilde{h} \approx 1,6 \cdot 10^{-10}$. Відповідно, для z° -резонансу на рис. 4 ця величина складає $v/\tilde{h} \approx 9,85$ – у повному протиріччі до «загальної коваріантності законів природи» [1, 33], яка не визнає надсвітлових швидкостей.

Однотипність резонансних піків на рис. 3, 4 підкреслює неадекватність розділення адронів та лептонів, на якому ґрунтується SM . Резонанси, які зазвичай трактуються як збуджені стани адронів [1, 2], є результатом вимушеного розпаду спарених (з протилежним спіном) хітонів. Як і у випадку надпровідного Фермі-газу [22], це спарення йде за участю фононів. Необхідна когерентність вимушеного розпаду таких пар досягається стабілізацією за довжиною хвилі (по максимуму в спектрі теплового випромінювання), а також за частотою – в кооперації з фононами. Оскільки в рівноважному теплому випромінюванні співвідношення вимушеного випромінювання до спонтанного різко зростає з довжиною хвилі, то це справедливо й для збурень-хітонів. Як видно з рис. 1–4, врешті формується група конкуруючих резонансів у довгохвильовій частині спектрів. Зокрема, $\Upsilon - \Upsilon' - \Upsilon''$ – резонанси з енергією ≈ 10 GeV втричі перевищують z° -резонанс за довжиною хвилі та мають згідно з (6) втричі меншу групову швидкість, що в результаті вдв'ятеро зменшує їх енергію відносно z -резонансу. «Лідер перегонів» J/ψ – резонанс на рис. 3–4, стабілізований фононами, є повним аналогом домінуючих акустичних піків на частотах ≈ 13 Гц та ≈ 40 Гц (рис. 1-2), стабілізованих власними формами обертання приводу металорізного верстата.

Трансформація хітонної взаємодії при високих температурах. Як відомо, спін-орбітальна взаємодія оцінюється множителем $v^2/\tilde{h}^2$ у співвідношеннях квантової електродинаміки [1, 33]. При достатньо високих температурах це відношення згідно з (11) наближається до одиниці. В такому випадку стає можливим своєрідний фазовий перехід в системі хітонів, який веде до спарення хітонів зі співнаправленими (а не протилежними) спінами. На відміну від подібного спарення у надтекучому ^3He за низьких температур [1, 2], ефект притягання тут забезпечується саме спін-орбітальною взаємодією хітонів, яка компенсує їх взаємне відштовхування внаслідок обмінної взаємодії. В результаті формується взаємозв'язок двох хітонів, який може бути охарактеризований відповідною кривою потенційної енергії – рис. 5. Особливістю тут є наявність не тільки потенційної ями, але й потенційного бар'єру, який обумовлює метастабільну частину енергетичного спектру псевдоелементарних частинок.

Відмічений фазовий перехід пов'язаний зі спонтанним порушенням антисиметрії системи: з двох рівноправних спіральностей хітонів виділяється одна домінуюча – для частинок. Хітони протилежної спіральності формують античастинки, рідше представлені у природі. Магнітні моменти частинок та античастинок, відповідно, мають протилежний знак. Як і для надтекучого ^3He , для спарених хітонних пар характерне обертання, яке визначає вісь анізотропії в системі. Спін частинки формується в результаті складання повних моментів руху хітонів, тобто реалізується т.з. $j-j$ зв'язок [1, 2]. Таким чином, сильна

взаємодія, що визначає структуру псевдоелементарних частинок, формується балансом двох взаємодій – спін-орбітальної та обмінної. Поняття слабкої взаємодії тут умовне. До неї суто умовно може бути віднесена спін-обітальна взаємодія, що забезпечує притягання на великих відстанях. В такому випадку обмінна взаємодія обумовлює сильне відштовхування на малих відстанях між хітонами. За такою схемою побудована і найпростіша ядерна речовина, наприклад, ядро дейтону зі співнаправленими спінами нуклонів. Навпаки, виняткова стабільність магнічних ядер, вочевидь, пояснюється спаренням нуклонів з протилежними спінами й далекодіючим обмінним притяганням бозонів.

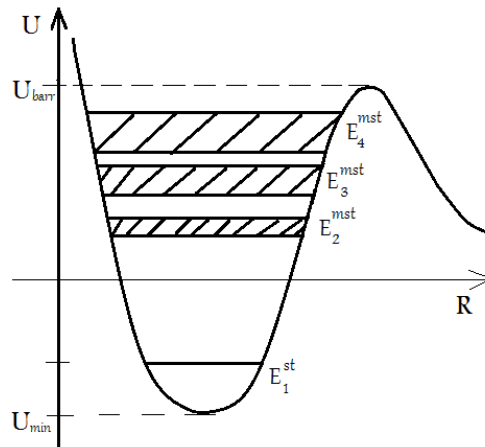


Рис. 5. Залежність потенційної енергії взаємодії двох хітонів у складі протону від відстані між ними з нанесеною схемою енергетичних рівнів протона

Зазначений високотемпературний фазовий перехід в системі хітонів, що веде до створення речовини, характеризується критичною температурою T_c , яка визначається з умови просторового резонансу:

$$R_{T_c} = \frac{n}{q} R_z \quad (12)$$

де n, q – цілі числа, R_{T_c} , R_z – тепловий та зарядовий радіуси:

$$R_{T_c} = \frac{\hbar c}{4,965kT_c}, \quad R_z = \frac{z^* \cdot e^2}{mc^2} \text{ (СГСЕ)}. \quad (13, 14)$$

Тут z^* – ефективне зарядове число [32, 36], e – елементарний електричний заряд. Підставляючи (13, 14) в (12), отримаємо:

$$T_c = \frac{q}{n} \cdot \frac{mc^2 \cdot \alpha^{-1}}{4,965kz^*}, \quad \alpha^{-1} = \frac{\hbar c}{e^2} \text{ (СГСЕ)}. \quad (15, 16)$$

Обернена величина постійної тонкої структури α^{-1} , яка фігурує тут, має глибокий фізичний зміст. Вона відображає домінування спін-орбітальної та обмінної взаємодій на псевдоелементарних масштабах, де електрична взаємодія виступає другорядним фактором, який обумовлює тільки тонку (мультиплетну) структуру спектру мас – у повній протилежності до атомних систем, де переважають електричні сили, а постійна тонкої структури α , пов'язана зі спін-орбітальною взаємодією, визначає лише мультиплетність термів [1, 2].

Утворення речовини відзначається розділенням електричної та магнітної компонент теплового випромінювання. В рамках гідродинамічно-хвильового калібрування потенціалів в рівняннях Максвелла [32, 36] це формально представлено у вигляді т.з. магнітних зарядів (енергетичних) та відповідних їм зарядових чисел Z_s, Z_w – поряд з Z_e – електричним зарядовим числом. Ці числа визначають ефективне зарядове число псевдоелементарної частинки [32, 36]:

$$z^* = 64Z_s + 4Z_w + Z_e. \quad (17)$$

Числові коефіцієнти в (17) умовно відображають «силу» взаємодії: магнітно-сильної, магнітно-слабкої та електричної. Таке розділення, як вже зазначалось, значною мірою умовне. Воно пов'язане з потребою знайти спільну мову між теорією поля Фарадея–Максвелла та квантовою механікою.

В результаті фазового переходу температура хітонів дещо знижується та досягає величини T_0 , а групова швидкість вирівнюється з $c(v/c = 1)$. Енергія відрелаксованого таким чином поля стає енергією спокою відповідної псевдоелементарної частинки:

$$4,965kT_0 = mc^2. \quad (18)$$

При цьому виділяється певна енергія зв'язку системи:

$$\Delta W = (\eta - 1) \cdot mc^2. \quad (19)$$

де η – коефіцієнт відносного енергетичного профіциту (дефіциту – для окремих видів нестабільних частинок):

$$\eta = \frac{4,965kT_c}{4,965kT_0} = \frac{4,965kT_c}{mc^2} = \frac{v_c}{c} \quad (20)$$

Тут v_c – критична групова швидкість хітонів. Величини η , ΔW поряд з температурою, як буде показано нижче, визначають часи життя псевдоелементарних частинок. Коефіцієнт η згідно з (15, 20) може бути обчислений наступним чином:

$$\eta = \frac{v_{\tilde{n}}}{\tilde{n}} = \frac{q}{n} \cdot \frac{\alpha^{-1}}{z^*}. \quad (21)$$

Слід відмітити, що удаваний енергетичний дисбаланс в такій схемі розрахунку, пов'язаний з наявністю двох хітонів при температурі T_0 та сумарній енергії mc^2 , знімається застосуванням методів квантової статистики, якщо вважати, що вони займають рівень Фермі з енергією $E_F = mc^2$ з ймовірністю $1/2$. В такому випадку, однак, порушується принцип Паулі – внаслідок достатньо сильної спин-орбітальної взаємодії.

В таблиці 1 представлені розраховані таким чином зарядові конфігурації, ефективні зарядові числа та зарядові радіуси більшості з відомих стабільних та квазістабільних частинок. В таблиці 2 наведені відповідні числа кратності, критичні температури, коефіцієнти відносного енергетичного профіциту (дефіциту), енергії зв'язку, а також часи життя псевдоелементарних частинок (останні – з літературних джерел [1, 35]). Як видно, діапазон критичних температур перевищує три порядки величини – від найхолоднішого електрона до найгарячішої тау-частинки. Відповідно, зарядовий радіус електрона «аномально» великий та близький до комптонівського [36]. В цьому контексті удавана точковість електрона є найбільш грубою та принциповою помилкою квантової електродинаміки, прихованою за спекулятивною процедурою перенормувань [1, 2, 33]. У випадку ж квантової хромодинаміки удавана точковість кварків призводить до абсурдних маніпуляцій з асимптотичною свободою та конфайнментом кварків [1, 2, 6].

Таблиця 1

Енергії спокою, зарядові конфігурації, ефективні зарядові числа та зарядові радіуси частинок

Частинка	mc^2 , MeV	$Z_q, Z_{\text{яд}}, Z_e$	Z^*	R_Z , фм
протон	938,27208816	(8, 8, 1)	545	0,836410555
нейтрон	939,56542052	(8, 8, 2)	546	0,836791803
електрон	0,5109989500	(2, 2, 1)	137	386,057824
мюон	105,6583755	(2, 2, 1)	137	1,8671037
тау (τ)	1776,86	(2, 2, 1)	137	0,1110246
$\pi^\pm$ – мезони	139,57018	(1, 1, 1)	69	0,7118824
π^0 – мезон	134,9766	(1, 1, 2)	70	0,746777
$K^\pm$ – мезони	493,646	(3, 3, 3)	207	0,603819
K_L^0 – мезон	497,67	(3, 3, 2)	206	0,596043
K_S^0 – мезон	497,67	(3, 3, 4)	208	0,601830
Λ – гіперон	1115,683	(10, 10, 2)	682	0,880224
Σ^+ – гіперон	1189,37	(12, 12, 3)	819	0,991555
Σ^0 – гіперон	1192,642	(12, 12, 4)	820	0,990048
Σ^- – гіперон	1197,499	(12, 12, 1)	817	0,982422
Ξ^0 – гіперон	1314,86	(14, 14, 0)	952	1,042580
Ξ^- – гіперон	1321,71	(14, 14, 1)	953	1,038266
Ω^- – гіперон	1672,45	(18, 18, 1)	1225	1,054708

Відповідь на самоіронічне запитання фізиків «Навіщо потрібен мюон, якщо вже є електрон?» [2] виявляється простою: електрон є кінцевою ланкою оберненого релаксаційного каскаду в трійці тау – мюон – електрон з суттєво різними критичними температурами за ідентичних зарядових конфігурацій та чисел кратності (таблиці 1, 2). Різке збільшення часу життя при переході від тау-частинки до електрона обумовлене каскадним охолодженням поля. Кратність $q=n=1$, тричі повторена у цій групі, є найбільш простою та вигідною топологічно, оскільки відповідає повному співпадінню теплових та зарядових просторових конфігурацій.

Нестабільність нейтрона в порівнянні з протоном, як видно, обумовлена значно меншою енергією зв'язку. В ядрах за рахунок загального охолодження системи нейтрон опускається на основний енергетичний рівень та стабілізується. Нестабільність мезонів пояснюється енергетичним дефіцитом

($\Delta W < 0$). Часи життя цих частинок обумовлені суперечливим впливом температури: теплові флуктуації, з одного боку, допомагають подолати цей дефіцит, а з іншого – сприяють деструкції з'єднання двох хітонів. Гіперони, поверхнево віднесені до «дивних» частинок [1, 2], продовжують сімейство нуклонів, однак, втрачають стабільність в умовах значно вищих температур (табл. 2).

Таблиця 2

Числа кратності, критичні температури, коефіцієнти відносного енергетичного профіциту (дефіциту), енергії зв'язку та часи життя частинок

Частинка	(n, q)	$T_c, 10^9 \text{ }^\circ\text{K}$	$\eta = v_c / c$	$\Delta W, \text{ MeB}$	$\tau, \text{ c}$
протон	(1, 4)	2205,6	1,0057688	5,4127	ст.
нейтрон	(1, 4)	2204,6	1,0039267	3,6894	889
електрон	(1, 1)	1,1946	1,00026277	$134,28 \cdot 10^{-6}$	ст.
мюон	(1, 1)	247,0	1,00026277	$27,764 \cdot 10^{-3}$	$2,20 \cdot 10^{-6}$
τ (τ)	(1, 1)	4154	1,00026277	0,4669	$3,0 \cdot 10^{-13}$
$\pi^\pm$ – мезони	(2, 1)	323,9	0,9930145	-0,97497	$2,60 \cdot 10^{-8}$
π^0 – мезон	(2, 1)	308,8	0,978829	-2,8576	$8,20 \cdot 10^{-17}$
$K^\pm$ – мезони	(2, 3)	1146	0,9930145	-3,4484	$1,24 \cdot 10^{-8}$
K_L^0 – мезон	(2, 3)	1161	0,997835	-1,0775	$5,17 \cdot 10^{-8}$
K_S^0 – мезон	(2, 3)	1149	0,988240	-5,8526	$0,89 \cdot 10^{-10}$
Λ – гіперон	(1, 5)	2620	1,0046628	5,2022	$2,63 \cdot 10^{-10}$
Σ^+ – гіперон	(1, 6)	2791	1,0039267	4,6703	$0,80 \cdot 10^{-10}$
Σ^0 – гіперон	(1, 6)	2795	1,0027024	3,2230	$7,4 \cdot 10^{-20}$
Σ^- – гіперон	(1, 6)	2817	1,0063843	7,6452	$1,48 \cdot 10^{-10}$
Ξ^0 – гіперон	(1, 7)	3096	1,0076176	10,0161	$2,90 \cdot 10^{-10}$
Ξ^- – гіперон	(1, 7)	3110	1,0065604	8,6709	$1,64 \cdot 10^{-10}$
Ω^- – гіперон	(1, 9)	3935	1,0067951	11,3645	$0,82 \cdot 10^{-10}$

Повертаючись до потенційної кривої протона (рис. 5), відмітимо наявність трьох головних метастабільних рівнів енергії. Ця трійця була виявлена вже в ранніх експериментах з розсіяння електронів на протонах (рис. 6), що надихнуло авторів кваркових моделей адронів з трьома «конституентними» кварками [1, 2] та визначило весь подальший хибний шлях квантової хромодинаміки. Метастабільні енергетичні рівні протона, а також дейтона виявляються і в результатах розсіяння γ -квантів та піонів на протонах і дейтонах (рис. 7) [1, 35]. Відносна висота енергетичного бар'єру протона $U_{barr} - E_1$ відповідає відміченій вище температурі «плавлення» протона, яка в енергетичних одиницях становить величину 2,2-2,3 ГеВ у відповідності до високоенергетичної границі дискретних компонент спектрів розсіяння електронів, γ -квантів та піонів на протонах (рис. 6, 7).

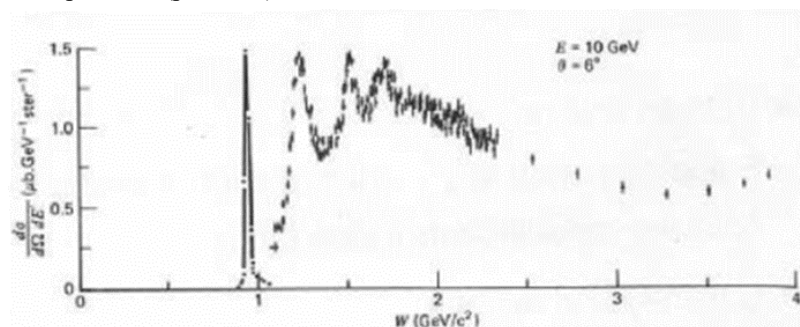
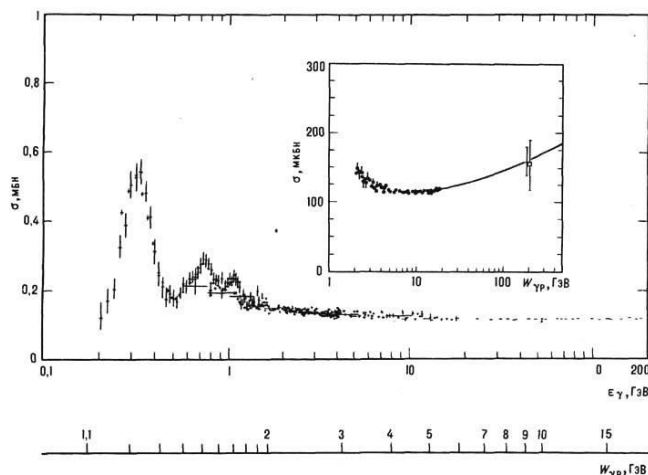


Рис. 6. Енергетичні спектри розсіяння електронів на протонах (J.I. Friedman, H.W. Kendall, R.E. Taylor) [41]

Врешті відмітимо ще одне непорозуміння існуючих фізичних теорій щодо ненульової маси спокою нейтрино [3, 4, 19]. Це непорозуміння десятиліттями живиться спекуляціями т.з. нейтринних осциляцій [1–4, 19]. В дійсності ж, нейтрино (як і антинейтрино) утворюється в результаті втрати антисиметрії в системі хітонів (за спіральністю), набуваючи характерної групової швидкості $v = c$, однак без специфічної для масових частинок критичної температури T_c та без власної маси спокою. Динамічна ж маса нейтрино виражається просто:

$$m = \hbar \omega / c^2. \quad (22)$$

Рис. 7. Спектри розсіяння γ -квантів на протонах [1]

Зауважимо, що розглянутий механізм набуття маси псевдоелементарними частинками шляхом фазового переходу в системі хітонів, пов'язаним зі спонтанним порушенням антисиметрії, не має нічого спільного зі спекулятивним механізмом Хіггса [1–5].

Приєднана маса, енергетичні каскади та колапс в системі хітонів. Спектри хітонних збурень (див. рис. 1–4), окрім виділених дискретних компонент, містять також вширені каскадні кластери, що відповідають турбулентній квантовій Фермі-рідині. Зокрема, на рис. 3 чітко проявлений обернений енергетичний каскад, який характеризується співвідношенням $dN/dE \sim \nu^{-1,8}$. Накладання двох протилежних каскадів формує характерний фрактальний вид спектрів з вираженими спектральними «долинами» (рис. 8). Як доводить аналіз хітонних спектрів в триботехнічних та колайдерних системах, напрям каскадного транспорту енергій збурень має топологічну основу [23, 32], пов'язану з характером поєднання спіральностей у трійках збурень. Для оберненого енергетичного каскаду характерне поєднання спіральностей протилежного знаку для двох подібних за масштабом компонент трійок. Таке поєднання мінімізує одночасно загальну спіральність, а також магнітну енергію та гідродинамічну енстрофію [23, 32]. Навпаки, прямий каскад характеризується поєднанням однакового знаку спіральностей, що максимізує ці величини. Найбільш наочно це спостерігається в атмосфері Сонця, де обернений енергетичний каскад формує дипольне відносно слабке глобальне магнітне поле (як хітонну структуру), а прямий – специфічні сигмоїдні та лямбда-подібні магнітні (хітонні) структури. Безпосереднє каркасне моделювання такого роду структур свідчить про те, що вони утворені шляхом поєднання двох однакових за знаком спіралей [37]. Зауважимо, що при описанні цих структур на основі гідродинамічно-хвильового калібрування потенціалів в рівняннях Максвелла [32] розглядається саме спінова, а не гідродинамічна чи магнітогідродинамічна спіральності.

Характерною особливістю прямого каскаду є колапсний механізм енергетичної накачки [21, 23]. Поширюючись матеріальним середовищем, хітонні збурення здатні приєднувати масу $\tilde{m}$, яка визначається співвідношеннями [21]:

$$\tilde{m}v^2/2 = kT, \quad \frac{\tilde{m}c^2}{mc^2} = \frac{2mc^2}{(4,965)^2 \cdot kT} (v \ll c). \quad (23, 24)$$

Як слідує з (24), в результаті такого приєднання можливе різке (колапсне) збільшення температури термокомплексу за рахунок відповідної корпускулярно-вихор-хвильової утилізації частини ε енергії спокою приєднаної маси $\varepsilon \cdot \tilde{m}c^2$ у теплове випромінювання. Таким шляхом генеруються, зокрема, космічні промені високих та надвисоких енергій [21].



Рис. 8. Енергетичні каскади в системі хітонів, проявлені в акустограмах процесу різання

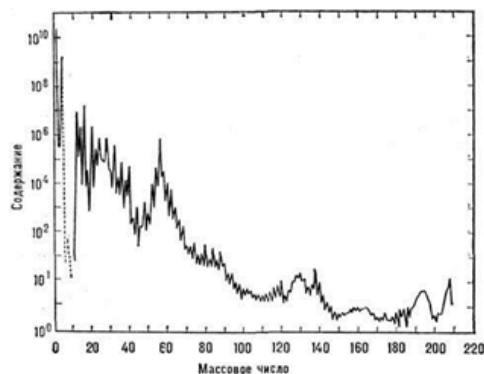


Рис. 9. Діаграма поширеності хімічних елементів у Сонячній системі [1]

Порівняння спектрів прямого каскаду у технічних контактних системах (рис. 8) зі спектрами поширеності хімічних елементів (рис. 9) свідчить про домінуючий характер маси протонів у складі як хітонних збурень, так і ядер хімічних елементів. Це відкидає традиційний сценарій т.з. «раннього нуклеосинтезу» водню та гелію, який штучно відділяє ці елементи від решти, нав'язуючи ілюзорну ідею Великого вибуху [1, 9, 10, 16].

Відмітимо, що термосинтез водню в процесі прямого енергетичного каскаду йде у напрямі, протилежному до реакцій термоядерного синтезу важчих елементів, що збалансовує склад хімічних елементів у Космосі, пояснюючи, серед іншого, проблему дефіциту сонячних нейтрино та дисбаланси стандартної сонячної моделі, незграбно приховані за механізмом нейтринних осциляцій [1, 2, 19].

В процесі зіткнення високоенергетичних частинок прямий каскад та колапс формують відомі адронні струмені, що зазвичай описуються в рамках точкової партонної моделі [1, 2]. Триботехнічний аналог таких струменів відображений, наприклад, на рис. 2, де прямий хітонний каскад при $T \approx 2400$ °K формує струменеві викиди частинок зношування. Збільшення контактного навантаження, як видно, у цьому випадку суттєво гальмує колапсні процеси.

Технічне застосування отриманих результатів. Розглянуті вище фізичні механізми дозволяють пояснити, зокрема, деякі «загадки» сонолюмінесценції [38, 39], яка по суті візуалізує вимушене теплове випромінювання в гідротехнічних кавітаційних системах. На рис. 10 показані спектри однобульбашкової сонолюмінесценції, які демонструють «загадкове» зникнення характерних емісійних молекулярних ліній, що супроводжується різким зростанням інтенсивності теплового випромінювання. Це прямо підтверджує запропоновані тут схеми енергообміну на рівні корпускулярно-вихор-хвильових термокомплексів (тріонів), а не на рівні атомів чи молекул. Щодо можливостей «мирного співіснування» кімнатних та плазмових температур в режимі сонолюмінесценції, слід відмітити топологічну ієрархію локалізованих мікрооб'ємів речовини, що взаємодіє з хітонним випромінюванням. На останньому щаблі цієї ієрархії знаходяться, як уже зазначалось, псевдоелементарні частинки при температурах в трильйони градусів.

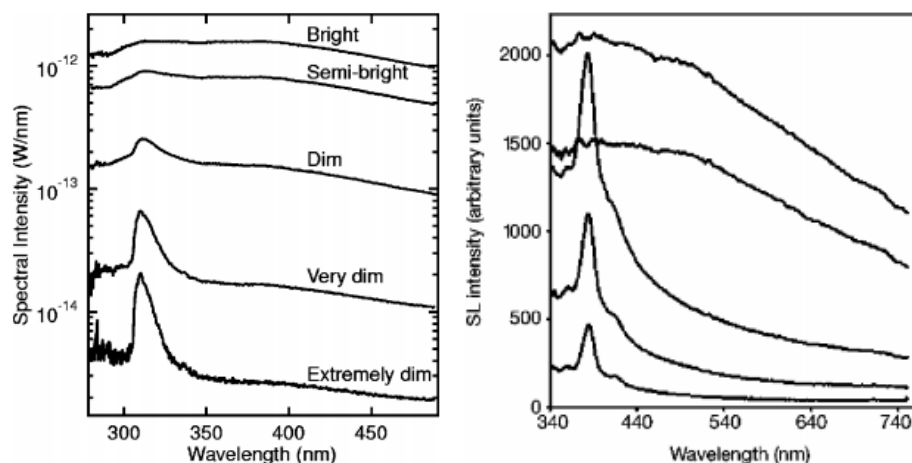


Рис. 10. Спектри однобульбашкової сонолюмінесценції, які демонструють поступове зникнення характерних дискретних ліній випромінювання радикалу $\text{OH}^\cdot$ (а) та молекули CN (б) по мірі збільшення інтенсивності сонолюмінесценції [38]

Циклічне стиснення кавітаційних бульбашок в режимі сонолюмінесценції не може бути адекватно описане мовою класичної гідро(аеро)динаміки [38, 39] без врахування обмінної та спин-орбітальної взаємодій в системі хітонів. Аналогічно, існуючі критичні зауваження щодо можливостей т.з. «холодного» (у т.ч. бульбашкового) ядерного синтезу [28], які робляться без врахування цих взаємодій, виглядають поверхневими. Як критики, так і самі автори експериментів у цій галузі [25–27] наполягають на класичному ядерному характері енергопостачання, нехтуючи корпускулярно-вихор-хвильовим синтезом речовини з теплового випромінювання та колапсними процесами, що розглядалися вище. Наприклад, як видно з таблиці 2, енергія, що виділяється при термосинтезі одного протона ($\approx 5,41$ MeV) у півтора рази перевищує питомий вихід класичного процесу термоядерного синтезу ядер дейтерію і тритію в ядро гелію ($\approx 3,5$ MeV/нуклон). Пов'язана проблема біологічної трансмутації ізотопів, надійно підтвердженої фактами [29, 30], трактується авторами експериментів в контексті низькоенергетичних ядерних реакцій (LENR), що йдуть при кімнатних температурах [29, 30]. Ігнорування розглянутих вище механізмів відкриває поле для критики такого підходу, та і явища загалом. Між тим, біологічна трансмутація ізотопів в процесі поділу живих клітин (мітозу) з повним правом може вважатись істинним чудом природи, оскільки тут локально досягаються температури $\gtrsim 10^7$ °K, однак, на відміну від «неживої» природи, це не супроводжується емісією високоенергетичних частинок: нейтронів, γ -квантів, нейтрино і т.п. В такому контексті дефіцит цих частинок в експериментах з «холодного» ядерного синтезу аж ніяк не може вважатись аргументом противників [28]. Корпускулярно-вихор-хвильовий синтез речовини з теплового випромінювання, вочевидь, значно заощадливіший щодо енергетичних втрат (стосовно класичного термоядерного синтезу).

Відкрите майже століття назад мітогенетичне випромінювання [31] нерідко відносять до категорії «псевдонауки», апелюючи «залізним» аргументом щодо слабкості цього випромінювання на фоні сонячного

в аналогічних (ультрафіолетових) ділянках спектру. Однак, воно являє собою саме хітонне випромінювання з особливою вихровою топологією, відмінною від топології рівноважного теплового випромінювання. Біостимулюючий характер цього випромінювання [31] цілком відповідає вимушеному хітонному випромінюванню, що розглядалось вище.

В зв'язку з мітогенетичним випромінюванням відмітимо також специфічну проблему на стику контактної трибодинаміки та біофізики щодо «аномально» потужного розділення (сегрегації) хромосом в анафазі мітозу [40]. Існуючі моделі контактної взаємодії тубулінових мікротрубочок з кінетохорами [40] апелюють до звичних електромагнітних сил взаємодії атомів, іонів та молекул. Однак, «аномальну» потужність забезпечують в даному випадку розглянуті вище сили обмінної взаємодії в системі спарених хітонів з протилежними спінами. Напружена динаміка такої взаємодії безпосередньо відображається у керованому руйнуванні сегментів мікротрубочок.

Стосовно проблем триботехніки слід відмітити водневе зношування, а також фретинг і реверсивне проковзування в номінально-нерухомих з'єднаннях. Відома універсальність водневого зношування та «аномальне» контактне напруження водню за відсутності водневмісних середовищ (пластмас, нафтопродуктів, води) [24] пояснюється саме контактним термосинтезом цього елемента (а не адсорбцією). Механізм водневого зношування в трибосистемах має недифузний характер і визначається вихор-хвильовим перенесенням синтезованого водню вглиб контакту, що призводить до поступового або ж раптового колапсного руйнування матеріалу підконтактних шарів.

Типові швидкості фретингу та реверсивного проковзування в номінально-нерухомих з'єднаннях деталей ($\sim 10^{-2}$ – 10^{-5} м/с) цілком відповідають співвідношенню (11) при звичайних температурах та масах m атомів та молекул. Це безпосередньо сприяє колапсному перетворенню приєднаної маси термокомплексів в теплове випромінювання та різко інтенсифікує зношування.

Відмітимо також «холодне» контактне зварювання (у т.ч. ультразвукове) в умовах стиску зі зсувом, яке зазвичай інтерпретується без врахування значних градієнтів температури в граничних мікронних та субмікронних шарах, обумовлених прямим енергетичним каскадом в системі наведених хітонних збурень. В цьому контексті воно настільки ж «холодне», як і «холодний» ядерний синтез.

Неврахування розглянутих фізичних механізмів відзначається рядом катастроф та значних технічних невдач в галузях ядерної енергетики, гідроенергетики, керованого термоядерного синтезу [21, 23].

Синтез речовини з гравітаційного теплового випромінювання в космічних системах. Наявні труднощі існуючих фізичних теорій та стандартів щодо космічних систем долаються в рамках концепції гравітаційного теплового випромінювання [21] із застосуванням квантових співвідношень не тільки в мікро-, але й у макрокосмосі. В такому випадку слід ввести макрокосмічний аналог сталої Планка $\hbar$, який нижче позначається через Y (запропоноване раніше [21] позначення H , вочевидь, неоднозначне в контексті постійної Хаббла). Аналоги вище наведених співвідношень (1–7) для хітонних збурень гравітаційного теплового випромінювання запишуться у вигляді:

$$E = \pm \vec{P} \cdot \vec{V}, \quad \vec{P} = Y \cdot \vec{K} \quad (25, 26)$$

$$\Omega = \pm \vec{V} \cdot \vec{K}, \quad \vec{P} = M \cdot \vec{V} \quad (27, 28)$$

$$E = Y \cdot \Omega = \pm M \cdot (\vec{V})^2 = \pm \frac{Y^2}{M} (\vec{K})^2 = \pm \frac{(\vec{P})^2}{M} \quad (29)$$

Різниця з електромагнітним тепловим випромінюванням, однак, виявляється у відсутності гравітаційного аналога елементарного електричного заряду e за наявності, натомість, гравітаційної сталої G . Це дозволяє використати співвідношення між ефективним масовим зарядом Q_M та, власне, масою M космічного об'єкта [32]:

$$Q_M^2 = G \cdot M^2 \quad (30)$$

Для стабільних та квазістабільних об'єктів маємо аналог співвідношення (14):

$$Mc^2 = \frac{Z_M^* \cdot Q_M^2}{R_M^Z} \quad (31)$$

Тут Z_M^* – ефективне зарядо-масове число, R_M^Z – зарядо-масовий радіус об'єкта. З (30, 31) слідує:

$$M = \frac{R_M^Z \cdot c^2}{Z_M^* \cdot G} \quad (32)$$

Це суттєво відрізняється від виразу для електромагнітної маси m :

$$m = \frac{Z^* \cdot e^2}{R_z \cdot c^2} \text{ (CGSE)} \quad (33)$$

Як видно, гравітаційна маса стабільних та квазістабільних космічних об'єктів прямо (а не обернено) пропорційна їх радіусу та обернено пропорційна ефективному зарядо-масовому числу.

За аналогією з (8, 11) введемо гравітаційну температуру космічного об'єкта T_g в енергетичних одиницях:

$$\frac{V}{c} = \frac{4,965T_g}{Mc^2} = 1, \quad T_g = \frac{Mc^2}{4,965} \quad (34, 35)$$

Співвідношення (34) відображає відмічений фазовий перехід, що веде до утворення стабільних та квазістабільних форм речовини. Для цих форм з (29) слідує вирази для циклічних частот Ω та періодів $\tau = 2\pi / \Omega$ хітонних збурень гравітаційного теплового випромінювання:

$$Y \cdot \Omega = Mc^2, \quad \tau = \frac{2\pi Y}{Mc^2} \quad (36, 37)$$

Ці вирази дозволяють обчислити постійну Y за відомими періодами хітонних збурень в квазістабільних космічних об'єктах масою M . Найточніше це можливо зробити для Сонця з явно виділеним квазіодинамичним циклом активності [42]:

$$\tau_s = 10,85 \pm 0,50 \text{ років} \quad (38)$$

Тоді з (37, 38) маємо:

$$Y = (0,97 \pm 0,05) \cdot 10^{55} \text{ Дж} \cdot \text{с} \quad (39)$$

Як видно, ця величина неспівставна щодо сталої Планка $\hbar$.

Наведемо також аналог співвідношення (12) між тепловим та зарядо-масовим радіусами космічного об'єкта:

$$R_M^T = \frac{Y}{Mc} = \frac{N}{Q} \cdot R_M^Z, \quad (40)$$

де N, Q – числа кратності.

Отримане значення постійної Y та співвідношення (25–40) дозволяють провести чисельні оцінки параметрів цілого ряду квазістабільних космічних об'єктів: Землі, Сонця, квазара $S_{gr}-A^*$ в центрі Галактики [42, 43], пульсарів. Зокрема, ефективні зарядо-масові числа для Землі, Сонця та $S_{gr}-A^*$ складають відповідно: $\approx 1,4 \cdot 10^9$, $\approx 4,7 \cdot 10^5$, ≈ 3 . Їх гравітаційні температури становлять відповідно: $\approx 1,1 \cdot 10^{41}$ Дж, $\approx 3,6 \cdot 10^{46}$ Дж, $\approx 1,6 \cdot 10^{53}$ Дж, а теплові радіуси, відповідно: ≈ 180 кпк (кілопарсек), $\approx 1,6 \cdot 10^{16}$ м, $\approx 3,8 \cdot 10^9$ м. Тепловий радіус Землі відповідає галактичному гало, а Сонця – Хмарі Оорта. Остання, як вже зазначалось [21], містить також сферичну структуру електромагнітного теплового випромінювання, стабілізовану при температурі $T \approx 2,726^\circ\text{K}$, дещо вищій температури фазового переходу HeI-HeII $T \approx 2,17^\circ\text{K}$ [1, 2]. Перша з температур помилково відноситься на рахунок т.з. реліктового випромінювання [1, 2, 9]. Об'єднані хітонні структури електромагнітного та гравітаційного теплового випромінювання забезпечують ефект гравітаційного лінування та мікролінування у Космосі, який зазвичай пов'язують з неіснуючою темною матерією [1, 11].

Цілковите протиріччя запропонованих тут фізичних механізмів з т.з. релятивістською гравітацією (що базується на загальній теорії відносності Ейнштейна) [1, 44–46] найвиразніше проявляється на прикладі пульсарів, яких зазвичай зараховують до категорії замагнічених нейтронних зір з масою порядку сонячної [1, 46, 47]. Однак, обчислені за співвідношенням (37) маси радіопульсарів при періодах пульсацій [1] $1,3 \text{ мс} \lesssim \tau \lesssim 5 \text{ с}$ лежать в діапазоні:

$$7 \cdot 10^7 M_S \lesssim M \lesssim 3 \cdot 10^{11} M_S, \quad (41)$$

де M_S – маса Сонця.

Квазістабільність пульсарів за таких колосальних мас забезпечується саме обмінною та спіно-орбітальними квантовомеханічними взаємодіями в системі гравітаційного поля. Це недоступно для розуміння в рамках неквантової релятивістської гравітації Ейнштейна – Шварцшильда – Зельдовіча [1, 44–46].

Гравітаційні температури пульсарів згідно з (35, 41) знаходяться в діапазоні:

$$2 \cdot 10^{54} \text{ Дж} \lesssim T_g \lesssim 1 \cdot 10^{58} \text{ Дж} \quad (42)$$

Утворення пульсарів в результаті прямого каскаду хітонних збурень не вписується в існуючі схеми т.з. вибухів нових та наднових зір на пізніх стадіях їх еволюції [1, 10, 20]. Так само, як і низька активність квазістабільного квазара $S_{gr}-A^*$ не відповідає моделі чорних дір, які для свого існування повинні невинно «пожирати» все навколо [1, 16, 43] та випромінювати гравітаційні хвилі [1, 16, 18, 46].

Грандіозним проявом прямого енергетичного каскаду гравітаційних хітонних збурень в космічних системах є релятивістські та надсвітлові джети з активних ядер галактик, а також динамічна компонента руху космічної речовини згідно з законом Хаббла, яка штучно прив'язується до ілюзорної ідеї т.з. Великого вибуху [1, 10, 16, 17].

Макрокосмічним аналогом відносно швидкого релаксаційного перетворення нейтрона в протон з випромінюванням електрона та антинейтрино може вважатись процес утворення квазістабільних зір з хітонного гравітаційного поля, за якого надлишок енергії зорі виділяється у вигляді планетарної системи, а також гравітаційного нейтрино. В свою чергу, стабілізація маси планет здійснюється шляхом відкидання супутників: місяця у випадку Землі, численних супутників планет-гігантів Сонячної системи. Такий механізм аж ніяк не відповідає поширеній на сьогодні акреційній космогонічній гіпотезі та уявленням про

суто гравітаційний колапс в моделі Джинса [1]. З іншого боку, поступова релаксація квазістабільних космічних об'єктів до стану стабільних, виражена, наприклад, у відомому «завмиранні» пульсарів [1], обумовлює часові обмеження життя на Землі, можливість якого забезпечується саме хітонними збуреннями теплового випромінювання електромагнітного та гравітаційного полів.

Обмінна взаємодія ферміонів хітонного гравітаційного випромінювання, які формують масу небесних тіл, суттєво послаблює сили гравітаційної взаємодії між ними. Це веде до різкого зменшення середньої густини ρ найважчих за масою пульсарів. При $Z_M^* = 1$ з (39–42) для них слідує залежності маси та періоду пульсацій від густини:

$$M = \left(\frac{c^2}{G} \right)^{3/2} \cdot \left(\frac{3}{4\pi\rho} \right)^{1/2} \quad (43)$$

$$\tau = \frac{4\pi Y}{c^5} \cdot \left(\frac{\pi}{3} G^3 \right)^{1/2} \cdot \sqrt{\rho} \quad (44)$$

Наприклад, для пульсара PRS1913+16 з періодом 59,03 мс [38] з (42–44) маємо: $M \approx 5,7 \cdot 10^9 M_\odot$, $\rho \approx 4,5 \text{ кг/м}^3$. У випадку короткоперіодного пульсара PRS1937+21 при $\tau \approx 1,56 \text{ мс}$ [1], відповідно, $M \approx 2,2 \cdot 10^{11} M_\odot$, $\rho \approx 0,003 \text{ кг/м}^3$. Це повністю спростовує поширену концепцію пульсарів як замагнічених нейтронних зір рекордної густини [1, 42], розроблену на основі загальної теорії відносності Ейнштейна без врахування квантовомеханічної обмінної взаємодії в космічних системах.

Слід також відмітити, що на відміну від зір та планет, зарядо-масовий радіус пульсарів R_M^Z значно перевищує їх тепловий радіус R_M^T за рахунок числа кратності Q у (37). Наприклад, для вже згадуваних пульсарів PRS1913+16 та PRS1937+21 відповідні величини становлять: $R_M^Z \approx 8,5 \cdot 10^{12} \text{ м}$, $R_M^T \approx 2,8 \cdot 10^6 \text{ м}$, $Q \approx 3 \cdot 10^6$ та $R_M^Z \approx 3,3 \cdot 10^{14} \text{ м}$, $R_M^T \approx 7,3 \cdot 10^4 \text{ м}$, $Q \approx 4 \cdot 10^9$. Залежність (43) якісно відповідає співвідношенню між масою та густиною перемінних зір-гігантів [1]. Однак, залежність (44) між періодом пульсацій та густиною має обернений характер – відповідно до того, що для пульсарів цей період формується прямим каскадом хітонних збурень, а для перемінних зір та активних квазарів – оберненим каскадом. Присутність відносно спокійного оберненого енергетичного каскаду також і в квазістабільних космічних об'єктах (Землі, Сонця, $S_{gr}-A^*$, радіопульсарах) веде до подовження їх характерних періодів, зменшення маси та густини шляхом корпускулярно-вихор-хвильового перенесення енергії в космічні системи вищих рангів. Навпаки, скорочення періодів більшості рентгенівських пульсарів [1] згідно з (42) свідчить про нарощування їх маси в процесі прямого енергетичного каскаду.

Відсутність елементарного масового заряду та асиметрія сил гравітаційної взаємодії обумовлюють суттєву різницю в характері сил притягання, які компенсують обмінні сили відштовхування ферміонів під час формування маси в космічних системах, щодо псевдоелементарних систем. Аналог виразу (21) тут запишеться у вигляді:

$$\frac{V_c}{c} = \frac{Q}{N} \cdot \frac{A^{-1}}{Z_M^*}, \quad (45)$$

$$\text{де} \quad A^{-1} = \frac{Yc}{GM^2} \quad (46)$$

формальний аналог оберненої тонкої структури α^{-1} , який, однак, не є сталим і залежить від маси M . За відносно малих мас планет і зір, як доводять розрахунки, маємо $A^{-1} \ll 1$, в той час як для пульсарів $A^{-1} \gg 1$. Значення $A^{-1} \gg 1$ характерне, наприклад, для квазара середньої маси $S_{gr}-A^*$. Ці результати свідчать про те, що у випадку планет і зір обмінні сили відштовхування компенсуються переважно спіно-орбітальною взаємодією хітонів, в той час як для пульсарів – переважно гравітаційним притяганням цих квазічастинок. Відмітимо також, що теплові (хітонні) радіуси супутників згідно (40) значно перевищують відповідні радіуси їх гравітаційних центрів, що обумовлює суто квантовомеханічний вплив супутників на центр, значно сильніший за відомий гравітаційний вплив. На прикладі Сонячної системи це виявляється у помітних варіаціях періодів квазідинадактилітного циклу Сонячної активності відповідно до (38), обумовлених, передусім, впливом Юпітера.

Врешті слід зауважити наявність мезоскопічних форм маси в технічних та космічних системах, які не вписуються у вище наведені розрахунки з константами $\hbar$ та Y – пилю, частинок зношування, метеороїдів, астероїдів і т.п. Це свідчить про можливість змішаного колапсного формування маси з хітонних збурень електромагнітного і гравітаційного теплового випромінювання, за якого відповідні константи у розрахунках приймають значення в широкому діапазоні від $\hbar$ до Y . Наявність таких змішаних форм та двох конкуруючих напрямів каскадного транспорту енергії хітонних збурень обумовлює всю глибинну геодинаміку, сейсмічність, вулканізм, варіації геомагнітного та гравітаційного полів, а також

різномасштабні циклічні зміни клімату Землі. З іншого боку, саме такого роду змішані форми хітонних збурень лежать в основі найбільших катастроф в історії ядерної енергетики та гідроенергетики – Чорнобильської та Саяно-Шушенської [32].

Таким чином, запропоновані фізичні механізми суттєво розширюють традиційне розуміння фізичних процесів та явищ, пов'язаних з корпускулярно-вихор-хвильовим синтезом речовини з теплового випромінювання.

Література

1. Физическая энциклопедия : [в 5 т. / под ред. А.М. Прохорова]. – Москва : Большая рос. энци., 1999. – 760 с.
2. Физика микромира. Маленькая энциклопедия / [под ред. Д.В. Ширкова]. – Москва : Сов. энци., 1980. – 528 с.
3. Боос Э.Э. Стандартная модель и предсказания для бозона Хиггса / Э.Э. Боос // УФН. – 2014. – Т. 184, № 9. – С. 985–996.
4. Ланев А.В. Результаты коллаборации CMS: бозон Хиггса и поиски новой физики / А.В. Ланев // УФН. – 2014. – Т. 184, № 9. – С. 996–1004.
5. The BEH-mechanism, Interactions with Short Range Forces and Scalar Particles. Scientific background on the Nobel Prize in Physics 2013. URL: <http://kva.se>
6. Гросс Д.Дж. Открытие асимптотической свободы и появление КХД : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2004 / Д.Дж. Гросс // УФН. – 2005. – Т. 175, № 12. – С. 1306–1317.
7. Дремин И.М. Кварк-глюонная среда / И.М. Дремин, А.В. Леонидов // УФН. – 2010. – Т. 180, № 11. – С. 1167–1196.
8. Арёфьева И.Я. Голографическое описание кварк-глюонной плазмы, образующейся при столкновениях тяжелых ионов / И.Я. Арёфьева // УФН. – 2014. – Т. 184, № 6. – С. 569–598.
9. Смут Дж.Ф. Анизотропия реликтового излучения: открытие и научное значение : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2006 / Дж. Ф. Смут // УФН. – 2007. – Т. 177, № 12. – С. 1294–1317.
10. Перлмуттер С. Измерение ускорения космического расширения по сверхновым : Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 2011 / С. Перлмуттер // УФН. – 2013. – Т. 183, № 10. – С. 1060–1077.
11. Гуревич А.В. Мелкомасштабная структура темной материи и микролинзирование / А.В. Гуревич, К.П. Зыбин, В.А. Сирота // УФН. – 1997. – Т. 167, № 9. – С. 913–943.
12. Чернин А.Д. Темная энергия и всемирное антитяготение / А.Д. Чернин // УФН. – 2008. – Т. 178, № 3. – С. 267–300.
13. Рябов В.А. Поиски частиц темной материи / В.А. Рябов, В.А. Царев, А.М. Цховребов // УФН. – 2008. – Т. 178, № 11. – С. 1129–1164.
14. Вихлинин А.А. Скопления галактик / А.А. Вихлинин, А.В. Кравцов, М.Л. Маркевич, Р.А. Сюняев, Е.М. Чуразов // УФН. – 2014. – Т. 184, № 4. – С. 339–366.
15. Засов А.В. Темная материя в галактиках / А.В. Засов, А.С. Сабурова, А.В. Хоперсков, С.А. Хоперсков // УФН. – 2017. – Т. 187, № 1. – С. 3–44.
16. Долгов А.Д. Массивные и сверхмассивные черные дыры в современной и ранней Вселенной и проблемы космологии и астрофизики / А.Д. Долгов // УФН. – 2018. – Т. 188, № 2. – С. 121–142.
17. Новиков И.Д. Новая концепция кротовых нор и Мультивселенная / И.Д. Новиков // УФН. – 2018. – Т. 188, № 3. – С. 301–310.
18. The Laser Interferometer Gravitational – wave Observatory and the First Direct Observation of Gravitational Waves. Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2017. URL: <http://kva.se>
19. Куденко Ю.Г. Осцилляции нейтрино: последние результаты и ближайшие перспективы / Ю.Г. Куденко // УФН. – 2018. – Т. 188, № 8. – С. 821–830.
20. Рязская О.Г. Нейтрино от гравитационного коллапса звезды: современный статус эксперимента / О.Г. Рязская // УФН. – 2006. – Т. 176, № 10. – С. 1039–1050.
21. Заспа Ю.П. Корпускулярно-вихор-хвильові термокомплекси (тріони) в гетерогенних системах: технічних, космічних, псевдоелементарних, біологічних. Ядро Землі: чавун, рідкий вуглець та алмази. Великий адронний колайдер: гаряча трансформація протонів. Хмара Оорта: холодний колапсний генератор космічних променів надвисоких енергій та джерело мікрохвильового фонового випромінювання / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2019. – № 4 (275). – С. 227–241.
22. Ландау Л.Д. Статистическая физика / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – Москва : Наука, 1976. – 586 с.
23. Заспа Ю.П. Ядерний та гідродинамічний бафтинг, флаттер та колапс в гетерогенних системах: псевдокооперативна вихор-хвильова динаміка і топологія Чорнобильської та Саяно-Шушенської катастроф / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 2 (271). – С. 238–248.
24. Справочник по триботехнике : в 3 т. Т. 1 Теоретические основы / под ред. М. Хебды и А.В. Чичинадзе. – Москва : машиностроение, 1989. – 400 с.
25. Царев В.А. Низкотемпературный ядерный синтез / В.А. Царев // УФН. – 1990. – Т. 160, № 11. – С. 1–53.
26. Xu Y. Confirmatory Experiments for Nuclear Emissions During Acoustic Cavitation / Y. Xu, A. Butt // Nuclear Engineering and Design. – 2005. – V. 235. – P. 1317–1324.

27. Нигматулин Р.И. О термоядерных процессах в кавитирующих пузырьках / Р.И. Нигматулин, Р.Т. Лэхи, Р.П. Талейархан, К.Д. Вест, Р.С. Блок // УФН. – 2014. – Т. 184, № 9. – С. 947–960.
28. Говердовский А.А. О перспективах термоядерной энергетики на основе кавитации пузырей / А.А. Говердовский, В.С. Имшенник, В.П. Смирнов // УФН. – 2013. – Т. 183, № 4. – С. 445–448.
29. Высоцкий В.И. Ядерные реакции и трансмутация изотопов в биологических системах (предыстория, текущее состояние, перспективы) / В.И. Высоцкий, А.А. Корнилова // ЖФНН. – 2017. – Т. 5, № 17–18. – С. 34–42.
30. Высоцкий В.И. Формирование когерентных коррелированных состояний как универсальный механизм реализации ядерных реакций при низкой энергии / В.И. Высоцкий, М.В. Высоцкий // ЖФНН. – 2017. – Т. 5, № 17–18. – С. 18–31.
31. Гурвич А. Двадцать лет митогенетического излучения (возникновение, дальнейшее развитие и перспективы) / А. Гурвич, Л. Гурвич // Успехи современной биологии. – 1943. – Т. 16, № 3. – С. 1–28.
32. Заспа Ю.П. Кооперативна динаміка, взаємодукція, комплексна топологія та гіперкомплексна хронологія вихор-хвильових форм електромагнітного, гравітаційного, сильного і слабого, а також гідродинамічного полів проти хибних стандартів SM та ΛCDM / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 1(269). – С. 254–266.
33. Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика / Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский А.П. – Москва : Наука, 1989. – 728 с.
34. Колубаев Е.А. Особенности акустического излучения при трении стали Гадфильда / Е.А. Колубаев, О.В. Сизова, С.А. Пупынин // Известия Томского политехнического университета. – 2011. Т. 319, № 2. – С. 62–66.
35. Review of Particle Physics. Particle Data Group. URL: <http://pdg.lbl.gov>
36. Заспа Ю.П. Сильна, слабка та електромагнітна складові маси електрона, протона та нейтрона, розраховані за умови вирівнювання відповідних електронзарядових та магнітнозарядових радіусів цих псевдоелементарних частинок / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 5(277). – С. 287–289.
37. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарної, сонячної, галактичної і метagalacticкої енергії та електромагнетизму. Частина VII / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 3. – С. 212–221.
38. Brenner M.P. Single-bubble Sonoluminescence / M.P. Brenner, S. Hilgenfeldt, D. Lohse // Reviews of Modern Physics. – 2002. – V. 74, № 2. – P. 425–483.
39. Маргулис М.А. Сонолюминесценция / М.А. Маргулис // УФН. – 2000. – Т. 170, № 3. – С. 263–287.
40. Молодцов М.И. Новый тип биомеханического двигателя / М.И. Молодцов, Е.Л. Гришук, Р. Макинтош, Ф.И. Атауллаханов // Рос. Хим. Ж. (Ж. Рос. Хим. Об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2007. – Т. 11, № 1. – С. 36–44.
41. Probing the Proton: Electron-Proton Scattering. URL: <http://www2.ph.ed.ac.uk/~vjm/Lectures/.../PPNotes3.pdf>
42. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарного, сонячного, галактичного і метagalacticкого магнетизму. Частина II / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 2(235). – С. 36–52.
43. Докучаев В.И. Физическая лаборатория в центре Галактики / В.И. Докучаев, Ю.Н. Ерошенко // УФН. – 2015. – Т. 185, № 8. – С. 829–843.
44. Ландау Л.Д. Теория поля / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – Москва : Наука, 1988. – 512 с.
45. Зельдович Я.Б. Релятивистская астрофизика / Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков // УФН. – 1964. – Т. LXXXIV, № 3. – С. 377–417.
46. Тэйлор Дж.Х. Двойные пульсары и релятивистская гравитация. Нобелевская лекция. Стокгольм, 8 декабря 1993 / Дж.Х. Тэйлор // УФН. – 1994. – Т. 164, № 7. – С. 757–764.
47. Потехин А.Ю. Физика нейтронных звезд / А.Ю. Потехин // УФН. – 2010. – Т. 180, № 12. – С. 1279–1304.

References

1. Fizicheskaya enciklopediya : [v 5 t. / pod red. A.M. Prohorova]. – Moskva : Bolshaya ross. enc., 1999. – 760 s.
2. Fizika mikromira. Malenkaya enciklopediya / [pod red. D.V. Shirkova]. – Moskva : Sov. enc., 1980. – 528 s.
3. Boos E.E. Standartnaya model i predskazaniya dlya bozona Higgsa / E.E. Boos // UFN. – 2014. – Т. 184, № 9. – С. 985–996.
4. Lanev A.V. Rezultaty kollaboracii CMS: bozon Higgsa i poiski novoy fiziki / A.V. Lanev // UFN. – 2014. – Т. 184, № 9. – С. 996–1004.
5. The BEH-mechanism, Interactions with Short Range Forces and Scalar Particles. Scientific background on the Nobel Prize in Physics 2013. URL: <http://kva.se>
6. Gross D.Dzh. Otkrytie osimptoticheskoy svobody i poavlenie KHD : Nobelevskaya lekciya. Stokgolm, 8 dekabrya 2004 / D.Dzh. Gross // UFN. – 2005. – Т. 175, № 12. – С. 1306–1317.
7. Dremmin I.M. Kvar-klyuonnaya sreda / I.M. Dremmin, A.V. Leonidov // UFN. – 2010. – Т. 180, № 11. – С. 1167–1196.
8. Arefeva I.Ya. Golograficheskoe opisanie kvark-glyuonnoy plazmy, obrazuyusheysya pri stolknoventii tyazhelykh ionov / I.Ya. Arefeva // UFN. – 2014. – Т. 184, № 6. – С. 569–598.
9. Smut Dzh.F. Anizotropiya reliktovoogo izlucheniya: otkrytie i nauchnoe znachenie : Nobelevskaya lekciya. Stokgolm, 8 dekabrya 2006 / Dzh. F. Smut // UFN. – 2007. – Т. 177, № 12. – С. 1294–1317.
10. Perlmutter S. Izmerenie uskoreniya kosmicheskogo rasshireniya po sverhnovym : Nobelevskaya lekciya. Stokgolm, 8 dekabrya 2011 / S. Perlmutter // UFN. – 2013. – Т. 183, № 10. – С. 1060–1077.
11. Gurevich A.V. Melkomasshtabnaya struktura temnoj materii i mikrolinzirovaniye / A.V. Gurevich, K.P. Zybin, V.A. Sirota // UFN. – 1997. – Т. 167, № 9. – С. 913–943.
12. Chernin A.D. Temnaya energiya i vseмирное antityagotenie / A.D. Chernin // UFN. – 2008. – Т. 178, № 3. – С. 267–300.

13. Ryabov V.A. Poiski chastic temnoj materii / V.A. Ryabov, V.A. Carev, A.M. Ihovrebov // UFN. – 2008. – T. 178, № 11. – S. 1129–1164.
14. Vihlinin A.A. Skopleniya galaktik / A.A. Vihlinin, A.V. Kravcov, M.L. Markevich, R.A. Syunyaev, E.M. Churazov // UFN. – 2014. – T. 184, № 4. – S. 339–366.
15. Zasov A.V. Temnaya materiya v galaktikah / A.V. Zasov, A.S. Saburova, A.V. Hoperskov, S.A. Hoperskov // UFN. – 2017. – T. 187, № 1. – S. 3–44.
16. Dolgov A.D. Massivnye i sverhmassivnye chernye dyry v sovremennoj i rannej Vselennoj i problemy kosmologii i astrofiziki / A.D. Dolgov // UFN. – 2018. – T. 188, № 2. – S. 121–142.
17. Novikov I.D. Novaya koncepciya krotovyh nor i Multivselennaya / I.D. Novikov // UFN. – 2018. – T. 188, № 3. – S. 301–310.
18. The Laser Interferometer Gravitational – wave Observatory and the First Direct Observation of Gravitational Waves. Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2017. URL: <http://kva.se>
19. Kudenko Yu.G. Oscillyacii nejtrino: poslednie rezultaty i blizhajshie perspektivy / Yu.G. Kudenko // UFN. – 2018. – T. 188, № 8. – S. 821–830.
20. ryazhskaya O.G. Nejtrino ot gravitacionnogo kollapsa zvezdy: sovremennyy status eksperimenta / O.G. Ryazhskaya // UFN. – 2006. – T. 176, № 10. – S. 1039–1050.
21. Zaspas Yu.P. Korpuskuliarno-vykhor-khvylovi termokompleksy (triony) v heterohennykh systemakh: tekhnichnykh, kosmichnykh, psevdoelementarnykh, biolohichnykh. Yadro Zemli: chavun, ridkyi vuhlets ta almazy. Velykyi adronnyi kolaider: hariacha transformatsiia protoniv. Khmara Oorta: kholodnyi kolapsnyi henerator kosmichnykh promeni nadvysokyykh enerhii ta dzherelo mikrokhvylovoho fonovoho vypprominiuvannia / Yu.P. Zaspas // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 4 (275). – S. 227–241.
22. Landau L.D. Statisticheskaya fizika / Landau L.D., Lifshic E.M. – Moskva : Nauka, 1976. – 586 s.
23. Zaspas Yu.P. Yadernyi ta hidrodinamichniy baftynh, flatter ta kolaps v heterohennykh systemakh: psevdokooperativna vykhorkhvylova dynamika i topolohiia Chornobylskoi ta Saiano-Shushenskoi katastrof / Yu.P. Zaspas // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 2 (271). – S. 238–248.
24. Spravochnik po tribotehnike : v 3 t. T. 1 teoreticheskie osnovy / pod red. M. Hebdech i A.V. Chichikadze. – Moskva : mashinostroenie, 1989. – 400 s.
25. Carev V.A. Nizkotemperaturnyy yadernyy sintez / V.A. Carev // UFN. – 1990. – T. 160, № 11. – S. 1–53.
26. Xu Y. Confirmatory Experiments for Nuclear Emissions During Acoustic Cavitation / Y. Xu, A. Butt // Nuclear Engineering and Design. – 2005. – V. 235. – P. 1317–1324.
27. Nigmatulin R.I. o termoyadernykh processah v kavitiruyushih puzyrkah / R.I. Nigmatulin, R.T. Lehi, R.P. talejarhan, K.D. Vest, R.S. Blok // UFN. – 2014. – T. 184, № 9. – S. 947–960.
28. Goverdovskiy A.A. O perspektivah termoyadernoy energetiki na osnove kavitacii puzyrej / A.A. Goverdovskiy, V.S. Imshennik, V.P. Smirnov // UFN. – 2013. – T. 183, № 4. – S. 445–448.
29. Vysockij V.I. Yadernye reakcii i transmutaciya izotopov v biologicheskikh sistemah (predystoriya, tekushee sostoyanie, perspektivy) / V.I. vysockij, A.A. Kornilova // ZhFNN. – 2017. – T. 5, № 17–18. – S. 34–42.
30. Vysockij V.I. Fomirovanie kogerentnykh korrelirovannykh sostoyanij kak universalnyy mehanizm realizacii yadernykh reakcij pri nizkoj energii / V.I. Vysockij, M.V. Vysockij // ZhFNN. – 2017. – T. 5, № 17–18. – S. 18–31.
31. Gurvich A. Dvadcat let mitogeneticheskogo izlucheniya (vozniknovenie, dalnejshee razvitie i perspektivy) / A. Gurvich, L. Gurvich // Uspehi sovremennoy biologii. – 1943. – T. 16, № 3. – S. 1–28.
32. Zaspas Yu.P. Kooperativna dynamika, vzaiemoinduksiia, kompleksna topolohiia ta hiperkompleksna khronolohiia vykhorkhvylovykh form elektromahnitnoho, hravitatsiinoho, synoho i slabkoho, a takozh hidrodinamichnoho poliv proty khybnykh standartiv SM ta / Yu.P. Zaspas // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 1(269). – S. 254–266.
33. Beresteckij V.B. kvantovaya elektrodinamika / Beresteckij V.B., Lifshic E.M., Pitaevskiy A.P. – Moskva : Nauka, 1989. – 728 s.
34. Kolubaev E.A. Osobennosti akusticheskogo izlucheniya pri trenii stali Gadfilda / E.A. Kolubaev, O.V. Sizova, S.A. Pupynin // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. – 2011. T. 319, № 2. – S. 62–66.
35. Review of Particle Physics. Particle Data Group. URL: <http://pdg.lbl.gov>
36. Zaspas Yu.P. Sylna, slabka ta elektromahnitna skladovi masy elektrona, protona ta neitrona, rozrakhovani za umovy vyirivniuvannia vidpovidnykh elektrozariadovykh ta mahnitnozariadovykh radiusiv tsykh psevdoelementarnykh chastynok / Yu.P. Zaspas // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 5(277). – S. 287–289.
37. Zaspas Yu.P. Kontaktnye dynamo yak henerator koherentnykh kosmichnykh form rukhu ta dzherelo planetarnoi, soniachnoi, halaktychnoi i metahalaktychnoi enerhii ta elektromahnetyzmu. Chastyna VII / Yu.P. Zaspas // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2017. – № 3. – S. 212–221.
38. Brenner M.P. Single-bubble Sonoluminescence / M.P. Brenner, S. Hilgenfeldt, D. Lohse // Reviews of Modern Physics. – 2002. – V. 74, № 2. – R. 425–483.
39. Margulis M.A. Sonoluminescenciya / M.A. Margulis // UFN. – 2000. – T. 170, № 3. – S. 263–287.
40. Molodcov M.I. Novyy tip biomehanicheskogo dvizhitelya / M.I. Molodcov, E.L. Grishuk, R. Makintosh, F.I. Ataullahanov // Ros. Him. Zh. (Zh. Ros. Him. Ob-va im. D.I. Mendeleeva). – 2007. – T. LI, № 1. – S. 36–44.
41. Probing the Proton: Electron-Proton Scattering. URL: <http://www2.ph.ed.ac.uk/~vjm/Lectures/.../PPNotes3.pdf>
42. Zaspas Yu.P. Kontaktnye dynamo yak henerator koherentnykh kosmichnykh form rukhu ta dzherelo planetarnoho, soniachnoho, halaktychnoho i metahalaktychnoho mahnetyzmu. Chastyna II / Yu.P. Zaspas // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2016. – № 2(235). – S. 36–52.
43. Dokuchaev V.I. Fizicheskaya laboratoriya v centre Galaktiki / V.I. Dokuchaev, Yu.N. Eroshenko // UFN. – 2015. – T. 185, № 8. – S. 829–843.
44. Landau L.D. Teoriya polya / Landau L.D., Lifshic E.M. – Moskva : Nauka, 1988. – 512 s.
45. Zeldovich Ya.B. Relyativistskaya astrofizika / Ya.B. Zeldovich, I.D. Novikov // UFN. – 1964. – T. LXXXIV, № 3. – S. 377–417.
46. Tejlror Dzh.H. Dvojnye pulsary i relyativistskaya gravitaciya. Nobelevskaya lekcija. Stokgolm, 8 dekabrya 1993 / Dzh.H. Tejlror // UFN. – 1994. – T. 164, № 7. – S. 757–764.
47. Potehin A.Yu. Fizika nejtronnykh zvezd / A.Yu. Potehin // UFN. – 2010. – T. 180, № 12. – S. 1279–1304.

Надійшла / Paper received: 01.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 05.06.2020

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА (151, 172)

УДК 629.7.01

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-25

А. Л. ГАНЗЮК, О. В. КРАВЧУК, О. О. КУДИНОВ, А. І. ГОРДСЄВ

Хмельницький НДЕКЦ МВС України

**ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ
НА ПІДРИВНИХ МАЙДАНЧИКАХ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

З метою зменшення кількості особового складу для проведення експертних досліджень проведено аналіз можливостей використання безпілотних літальних апаратів. На основі узагальнення відомих класифікацій та тактико-технічних характеристик, існуючих безпілотних літальних апаратів, запропоновано найбільш придатний для проведення експертних досліджень. Запропоновано спосіб використання безпілотних літальних апаратів на підривних майданчиках та запропонована методика проведення польотів безпілотних літальних апаратів під час виконання експертних досліджень.

Ключові слова: вибухові пристрої, безпілотні літальні апарати, спосіб використання.

A. HANZYUK, O. KRAVCHUK, O. KUDINOV A. HORDEEV

Khmelnitskyi NDECTS of the MIA of Ukraine

USE OF UNMANNED AIRCRAFT ON EXPLOSIVE SITES DURING EXPERT RESEARCH

Currently, conducting expert research during forensic explosives is determined by the provisions of paragraph 4.7 of the Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine 09.07.2014 № 653 (Registered with the Ministry of Justice of Ukraine on July 28, 2014 for № 870/25647), which approved the Instruction on the handling of explosives in the bodies and departments of internal affairs of Ukraine "

Transportation of explosive materials for expert examination and conducting of expert experiments to establish the ability of objects to explode requires a large number of personnel. When carrying out expert experiments it is necessary to carry out additional measures aimed at preventing accidents and injuries. This is the setting up of the environment, the instruction of persons involved in the environment, bringing to all persons present during expert experiments, signals and teams, which requires correspondingly an increase in the time for conducting these expert experiments. In order to reduce the number of personnel for conducting expert experiments, an analysis of the possibilities of using unmanned aerial vehicles was conducted. The legislative basis for the use and use of unmanned aerial vehicles, both foreign and domestic, is analyzed. On the basis of the generalization of known classifications and tactical and technical characteristics, existing unmanned aerial vehicles, their classification is proposed. Using unmanned aerial vehicles for expert experiments will reduce the number of people involved in conducting expert experiments and reduce the time spent on them and significantly reduce the risk of injury or death of personnel. The method of using unmanned aerial vehicles on subversive platforms and the proposed method of conducting flights of unmanned aerial vehicles in the course of expert experiments is proposed.

Key words: explosive devices, unmanned aerial vehicles, way of use.

Вступ. На даний час проведення експертних досліджень під час виконання судових вибухово-технічних експертиз визначено положеннями п. 4.7 Наказу Міністерства внутрішніх справ України 09.07.2014 № 653 (zareєстрованого в Міністерстві юстиції України 28 липня 2014р. за № 870/25647), що затвердив «Інструкцію про поведінку з вибуховими матеріалами в органах і підрозділах внутрішніх справ України», а саме «у разі проведення експертних експериментів при дослідженні вибухових матеріалів залучаються спеціалісти-вибухотехніки, які мають право на проведення спеціальних вибухотехнічних робіт. Кількість спеціалістів-вибухотехніків визначає керівник (старший) підривних робіт, урахувавши кількість питань, що поставлені на вирішення судової вибухотехнічної експертизи». У п. 1.11 Наказу МВС України від 08.05.1999 № 381, що затвердив «Інструкцію з організації приймання, обліку, використання, категорювання та зберігання боєприпасів, вибухових пристроїв, вибухових речовин і засобів підризу (вибухових, знайдених та добровільно зданих), а також штатних боєприпасів, вибухових речовин і засобів підризу в ОВС України» зазначено, що: «Транспортування вибухонебезпечних предметів на експертизу (дослідження) здійснюється працівником, відповідальним за їх зберігання, з озброєною охороною та дотриманням заходів безпеки». Проведення експертних досліджень з метою визначення здатності об'єктів дослідження до вибуху повинні проводитись у спеціально пристосованих для цього місцях (вибухових камерах, вибухозахисних контейнерах закритого типу, підривних майданчиках або полігонах).

Таким чином, як транспортування вибухових матеріалів для проведення експертизи так і проведення експертних досліджень для встановлення здатності об'єктів до вибуху вимагає значної кількості особового складу, що в деяких випадках не виявляється можливим.

Крім того при проведенні експертних досліджень необхідно проведення додаткових заходів спрямованих на запобігання нещасним випадкам та травмуванню осіб. Це виставлення оточення, проведення інструктажу осіб, які задіяні у оточенні, доведення до всіх осіб, що присутні при проведенні експертних досліджень, сигналів та команд, що вимагає відповідно збільшення часу на проведення вказаних експертних досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі способи використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА): для аналізу дорожньо-транспортних подій (знімки з камери безпілотної фіксують усі деталі аварій, терміновість виклику медичних служб, шляхи проїзду до місця події); для забезпечення проведення великих заходів, концертів, спортивних змагань, парадів, які зазвичай супроводжуються наявністю величезної кількості людей (дають можливість оцінити загрозу, регулювати прохід натовпу по

шляхах, що не допускають тисняви, побачити сторонні предмети); для обстеження підозрілих пакетів або сумок, щоб оцінити первинну загрозу і прийняти рішення про міру його небезпеки; для захисту державних кордонів (прикордонники можуть відстежувати контрабандистів, наркоторговців і перешкоджати незаконному перетину кордону у важко прохідних зонах); можуть оснащуватися системами для розпізнавання осіб і номерних знаків автомобілів, тепловізорами, технологією для перехоплення телефонних дзвінків; для точного, своєчасного і ефективного внесення добрив та пестицидів, для інспектування безпеки інфраструктурних об'єктів, таких як залізничні колії, дамби, канали, лінії електропередач, трубопроводи, автодороги; для попередження катастроф та пом'якшення їх наслідків, наприклад, обльоти затоплених територій та підтримка пожежогасіння; для доставки засобів впливу до заданого місця або на визначені об'єкти [1]. Безпілотні літальні апарати (часто їх називають «безпілотники» або «дрони») є сектором авіації, який розвивається дуже швидко і має великий потенціал для зростання і створення нових робочих місць. Термін «безпілотний літальний апарат» включає як великі літаки, аналогічні за розміром і складністю пілотованому літаку так і невеликі електронні пристрої для персонального використання. Особливо швидко розвивається сектор невеликих дронів.

На сьогодні існує багато різних типів літальних апаратів, що мають підйомну силу від кількох грамів до понад 10 тон, характеризуються швидкісними показниками від зависання на місці до швидкості понад 1000 км/год, можуть проводити в повітрі від кількох хвилин до місяців, з точки зору технології підймання вони можуть бути роторними, з фіксованим крилом. Дрони – це зростаючий ринок, що створює робочі місця і позитивно впливає на зростання економіки. Точні масштаби потенційного ринку БПЛА важко передбачити. Очікується, що глобальний бюджет на розробку та придбання БПЛА, враховуючи військові та державні закупівлі виросте з теперішніх більш ніж 5 млрд дол. до понад 11,6 млрд дол. у 2023 році. У 2014 р. глобальні статистичні дані показали існування 1708 конструкцій дронів, виготовлених 471 виробником. Ринок розвивається надзвичайно стрімко. Так, кількість операторів БПЛА в Японії зросла з 18 осіб у 1993 р. до близько 14000 у 2005 р. Головним рушієм цього росту було використання БПЛА у сільськогосподарській галузі. Збільшення застосування дронів спричиняє значний ріст робочих місць. У Сполучених Штатах прогнозується створення 100 000 робочих місць до 2025 року. У Європі прогнозується створення 150 000 робочих місць до 2050 р., не рахуючи безпосередніх операторів дронів. Європейська стратегія спрямована на створення єдиного ринку БПЛА. Також ця стратегія має створити умови для міцної і конкурентної індустрії виробництва та використання дронів для конкуренції на глобальному ринку.

Законодавча база для використання і застосування дронів фрагментарна та недосконала. Але в багатьох країнах, зокрема в ЕС та США робляться цілеспрямовані кроки для врегулювання відповідного законодавства. В Європі цим питанням займається Європейська агенція з авіаційної безпеки EASA [2]. Загальний підхід у врегулюванні використання дронів базується на оцінці ризиків що від них походять. Відповідно дрони поділяються на 3 категорії:

1. Категорія низького ризику – авторизація для використання дрона не потрібна;
2. Категорія середнього ризику – необхідний дозвіл для початку використання дрона, накладаються певні обмеження щодо його використання;
3. Категорія високого ризику – літальний апарат повинен бути сертифікований, а пілот (оператор) мати відповідну ліцензію.

Один з базових принципів використання дронів – це безпека, зокрема безпечна інтеграція дронів з загальною авіаційною системою безпеки. Правила безпеки мають бути пропорційними до ризику, беручи до уваги вагу, швидкість, складність, авіаційний клас та місце або особливості застосування дрона, тощо. Традиційна концепція авіаційної сертифікації, ліцензування пілотів та операторів має бути доповнена формами спрощеного регулювання. Виробники та користувачі малих дронів люблять гармонізацію правил управління для полегшення їх комерційного поширення та застосування. Але на даний момент законодавчо сфера застосування дронів у Європі регулюється на національному рівні. Законодавчі акти країн членів ЄС публікуються на сайті міжурядової організації EUROCONTROL [3]. Згідно Європейського законодавства використання дронів не повинне приводити до порушення фундаментальних прав, включаючи повагу до приватного та сімейного життя а також захист особистих даних.

Враховуючи те, що використання дрона може привести до нещасного випадку та нанесення шкоди, Європейська комісія працює над розробкою вимог щодо визначення винуватця нещасного випадку та щодо страхування цивільної відповідальності власника-оператора дрона.

В США використання безпілотних літальних апаратів регулюється Федеральною Адміністрацією з авіації, у відповідності до Федерального Кодексу «Code of Federal Regulations 14 C.F.R.». У 2015 році Федеральною Адміністрацією з Авіації був прийнятий законодавчий акт, відомий як Part 107 [4], що вимагає обов'язкової реєстрації всіх БПЛА.

В Україні вже є законодавча база щодо дронів – вони підпадають під визначення безпілотного повітряного судна, що міститься в Повітряному кодексі України. Більше того, такі пристрої наразі не підлягають обов'язковій реєстрації повітряних суден за умови, що їхня злітна вага не перевищує 20 кг та мета використання обмежується розвагами і спортом (п. 2.1.5 Правил реєстрації цивільних повітряних суден в Україні). Тобто звичайний цивільний безпілотник прирівнюється до радіокерованої авіамоделі за способом використання. Очевидно, що будь-яка інша мета використання дрона, аніж розваги, є підставою для реєстрації його як повітряного судна, що передбачає одержання від Державіаслужби (ДАС) відповідного сертифіката льотної придатності та реєстраційного номера.

Окремо ще стоїть питання, чи треба проходити курси з керування таким повітряним судном. Згідно з озвученою ДАС концепцією регулювання безпілотних польотів, планується впровадження поняття «зовнішній пілот», якому видаватиметься свідоцтво певного типу. Буде воно видаватися за заявою чи все ж доведеться складати іспити – поки незрозуміло [5].

Дрони стають реальністю і є комерційно доступними. Ринок дронів дає реальну можливість створення робочих місць та є джерелом інновацій та економічного зростання в наступні роки. Також вони несуть нові виклики пов'язані з безпекою та повагою прав громадян. Необхідне вдосконалення законодавства а також зусилля з розробки та впровадження технологій, для того щоб інтегрувати дрони у загальний простір цивільної авіації, та підвищити рівень впевненості у безпеці та дотриманні прав приватності.

На основі узагальнення відомих класифікацій та тактико-технічних характеристик, існуючих безпілотних літальних апаратів, авторами [6] запропоновано їхню класифікацію, за основними ознаками: використання; тип системи керування; правила польоту; клас; тип; тип крила; спосіб зльоту-посадки; тип двигуна; паливна система; тип паливного бака; кількість використань; категорія (з урахуванням маси і максимальної дальності дії); радіус дії; висота; функціональне призначення.

Для виконання судових вибухово-технічних експертиз за технічними характеристиками найбільш придатні БПЛА типу «коптер». Коптери класифікуються за кількістю приводних двигунів. Існують три-, квадро-, гексо-, окто- та мультикоптери (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд конструкцій БПЛА типу «коптер»: а – квадрокоптер; б – гексокоптер; в – октокоптер

Найбільш поширеними коптерами для відеозйомки є квадрокоптери. Також вони є найбільш поширеними для моделювання. Найвідомішим на сьогодні виробником квадрокоптерів обладнаних камерою для високоякісної відеозйомки є компанія DJI [7]. На рисунку представлені такі її моделі квадрокоптерів як Phantom, Mavic, Inspire, Matrix (рис. 2).



Рис. 2. Загальний вигляд конструкцій квадрокоптерів компанії DJI: а – Phantom; б – Mavic; в – Inspire; г – Matrix

Найбільш придатним для проведення експертних досліджень під час виконання судових вибухово-технічних експертиз, згідно технічної характеристики, є модель Phantom. Phantom 4 Pro V2.0, яка оснащена системою передачі цифрового відео з низкою затримкою в HD OcuSync. Технологія також підтримує безпечне підключення окулярів доповненої реальності DJI Goggles до квадрокоптера. Завдяки чому перегляд відео через камеру квадрокоптера в режимі реального часу піднімається на принципово новий рівень. Додаткові інфрачервоні датчики, які розміщені по боках корпусу дрона дозволяють підвищити точність розрізнення перешкод, завдяки чому дрон здатний уникати зіткнень у п'яти напрямках на швидкості до 50 км/год, що значно полегшує процес його керування. Обладнання Phantom 4 Pro V2.0 режимом польоту Draw дозволяє дрону виконувати переміщення по заданій траєкторії. Достатньо провести лінію на дисплеї і апарат буде переміщуватись на визначеній висоті чітко по вказаній траєкторії. Таким чином, оператору не треба розпорошувати свою увагу між керуванням та зйомкою, а зосередити свою увагу лише на зйомці.

Для вирішення проблеми розмитих об'єктів розробники оснастили камеру механічним затвором, що не є характерним для камер такого розміру. Затвор працює зі швидкістю 1/2000 с, завдяки чому вдається запобігти ефекту викривлення об'єктів. Нововведення дозволяє вловлювати найкращі моменти, проводячи зйомку 14 фотознімків у секунду. Phantom 4 Pro V2.0 може працювати в польоті у трьох режимах: Position Mode, Atti Mode і Sport Mode. У першому режимі доступні функції розпізнавання перешкод, позиціонування, Active Track і Tap Fly.

У випадку переходу у режим Atti Mode зв'язок зі супутником відключається і дрон буде підтримувати рівновагу, що дозволяє знімати плавні відео. При включенні режиму Sport Mode дрон може досягати швидкості до 74 км/год, що робить його ще більш швидким та маневреним.

Актуальність дослідження. Використання безпілотних літальних апаратів для проведення експертних досліджень під час виконання судових вибухово-технічних експертиз та створення методики їх використання дасть змогу зменшення кількості осіб, які задіяні у при проведенні експертних досліджень та зменшення витрат часу на їх проведення та значно зменшує фактори ризику травмувань або загибелі особового складу.

Виклад основного матеріалу. Для проведення експертних досліджень під час виконання судових вибухово-технічних експертиз було поставлено задачу створення способу використання БПЛА на підривних майданчиках, у якому наявні функції, що спрямовані на зменшення кількості осіб, які задіяні при проведенні експертних досліджень та зменшення витрат часу на їх проведення і запобігання нещасним випадкам та травмуванню осіб.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі використання БПЛА на підривних майданчиках при проведенні експертних досліджень під час виконання судових вибухово-технічних експертиз, що включає проведення обльоту і огляду означеної території та встановлення факту відсутності людей або тварин на безпечній відстані від місця підриву вибухового пристрою, а у випадку не спрацювання (не вибухнув) вибухового пристрою, виконується підліт МБЛА до місця підриву вибухового пристрою, проводиться його огляд із записом на комп'ютерний носій, аналіз ситуації, що виникла та у разі необхідності виконується доставка додаткових засобів для екстреного підриву.

Спосіб [8] реалізується за методикою згідно схеми, яка показана на рис. 3, де зображено послідовність проведення дій при використанні способу.

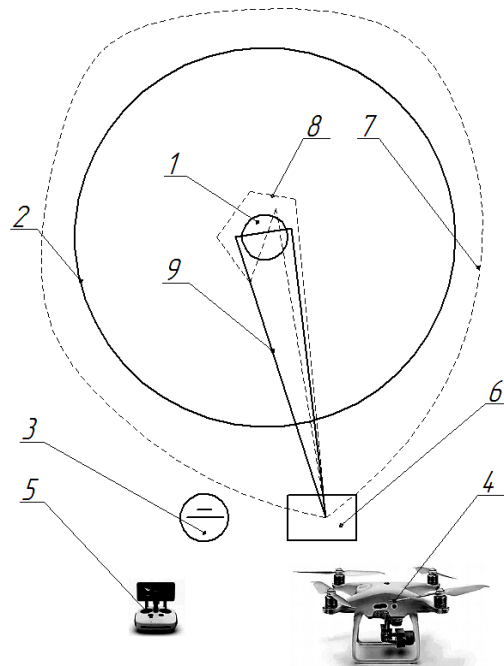


Рис. 3. Схема послідовності проведення дій при використанні способу по застосуванню БПЛА на підривних майданчиках при проведенні експертних досліджень під час виконання судових вибухово-технічних експертиз:

- 1 – вибуховий пристрій; 2 – траєкторія границі безпечної відстані при вибуху; 3 – оператор; 4 – МБЛА; 5 – пульт керування МБЛА;
- 6 – стартовий майданчик; 7 – траєкторія польоту з метою встановлення факту відсутності людей або тварин;
- 8 – траєкторія польоту для огляду місця вибуху у випадку не спрацювання вибухового пристрою;
- 9 – траєкторія польоту для доставки МБЛА додаткових засобів для екстреного підриву

Спосіб реалізується наступним чином. Проводиться закладка вибухового пристрою 1, спеціалісти-вибухотехніки відходять на відстань за безпечну границю 2, позначену прапорцями. Перед виконанням підриву оператор 3 піднімає БПЛА 4 за допомогою пульта 5 зі стартового майданчика 6 та проводить обліт вздовж безпечної границі 2 за траєкторією 7 з метою встановлення факту відсутності людей або тварин та повертає БПЛА 4 на стартовий майданчик 6. Виконується підрив вибухового пристрою 1. У випадку не спрацювання (не вибухнув) вибухового пристрою 1, оператор 3 виконує підліт МБЛА 4 до вибухового пристрою 1 за траєкторією 8, проводиться його огляд із записом на комп'ютерний носій, повернення БПЛА 4 на

стартовий майданчик 6, виконується аналіз ситуації, що виникла та у разі необхідності виконується доставка БПЛА 4 додаткових засобів для екстреного підриву згідно траєкторії 9.

Використання БПЛА на підривних майданчиках під час проведення експертних досліджень при виконанні судових вибухово-технічних експертиз забезпечує ряд значних позитивних моментів, а саме:

- зменшення чисельності осіб, задіяних при проведенні експертних досліджень (відпадає необхідність у виставленні оточення; для керування БПЛА необхідна лише одна особа);

- зменшення часу на проведення самого експертного дослідження (відпадає необхідність у проведенні інструктажів, узгодженні команд і сигналів);

- у разі неспрацювання (не вибухнув) вибухонебезпечного предмету, наявна можливість дистанційного огляду місця здійснення його підриву з візуальним контролем ситуації, що склалась у реальному часі (максимальне наближення БПЛА до місця підриву);

- можливість дистанційної доставки до місця проведення вибуху необхідних додаткових матеріалів, наприклад «кішки» з мотузкою або вибухового накладного заряду із засобом підриву з метою знищення об'єкта, що не спрацював (не вибухнув).

Висновки. На основі узагальнення відомих класифікацій та тактико-технічних характеристик, існуючих безпілотних літальних апаратів запропоновано найбільш придатний для проведення експертних досліджень.

Запропонований спосіб використання БПЛА на підривних майданчиках під час проведення експертних експериментів при виконанні судових вибухово-технічних експертиз зменшує кількість осіб, які задіяні під час проведення експертних досліджень та значно зменшує час на їх проведення. Крім того, використання БПЛА надає змогу всебічної фіксації етапів проведення експертного дослідження та значно зменшує фактори ризику травмувань або загибелі особового складу.

Література

1. Патент на корисну модель № 75572 України, МПК G05B 17/00. Спосіб доставки засобів впливу до заданого місця або на визначені об'єкти / Даник Ю.Г., Пулеко І.В., Поздняков П.В. (Україна). – u 2012 05067 ; заяв. 24.04.2012 ; опубл. 26.11.2012, Бюл. № 22. – 6 с.
2. Civil drones – EASA [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas> – Дата доступу: 09/06/2017.
3. National RPAS Regulations – Eurocontrol [Електронний ресурс]. – Режим доступ : <http://www.eurocontrol.int/articles/national-rpas-regulations> – Дата доступу: 09/06/2017.
4. Advisory Circular – Federal Aviation Administration [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.faa.gov/uas/media/AC_107-2_AFS-1_Signed.pdf – Дата доступу : 09/06/2017.
5. Правила гарного дрону – Axon [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://axon.partners/uk/uncategorized/the-rules-of-good-drone/> – Дата доступу : 09/06/2017.
6. Тимочко О.І. Класифікація безпілотних літальних апаратів / О.І. Тимочко, Д.Ю. Голубничий, В.Ф. Третяк, І.В. Рубан // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – Випуск 1(9). – С. 61–66.
7. Drone. UA – Офіційний дилер продукції компанії DJI в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://drone.ua/dji/dji/gclid=CLr72ZTUodQCFQWUsgodw50FCQ> – Дата доступу: 09/06/2017.
8. Пат. на корисну модель № 136843 України. МПК G05B 17/00. Спосіб використання МБЛА на підривних майданчиках при проведенні експертних експериментів під час виконання судових вибухово-технічних експертиз / Кудінов О.О., Ганзюк А.Л., Кравчук О.В., Гордєєв А.І. – № u201902453 ; заяв. 13.03.2019 ; опубл. 10.09.2019, Бюл. № 17. – 4 с.

References

1. Patent for Utility Model No. 75572 of Ukraine, IPC G05B 17/00. Method of delivery of means of influence to a given place or certain objects / Danik Yu.G., Pukolev I.V., Pozdnyakov P.V. (Ukraine). - u 2012 05067; Application April 24, 2012. Published by November 26, 2012, Bul. No. 22 – 6 s.
2. Civil drones – EASA. URL: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas> - Date of Access: 09/06/2017.
3. National RPAS Regulations – Eurocontrol. URL: <http://www.eurocontrol.int/articles/national-rpas-regulations> - Date of Access: 09/06/2017.
4. Advisory Circular - Federal Aviation Administration. URL: https://www.faa.gov/uas/media/AC_107-2_AFS-1_Signed.pdf - Date of Access: 09/06/2017.
5. Good dron rules – Axon. URL: <http://axon.partners/uk/uncategorized/the-rules-of-good-drone/> - Date of Access: 09/06/2017.
6. Timochko O.I. Classification of unmanned aerial vehicles / O.I. Timochko, D.Yu. Golubnichy, V.F. Tretiyak, I.V. Ruban // Armament and military equipment systems, 2007, Issue 1 (9). - P. 61-66.
7. Drone.UA - The official dealer of DJI company in Ukraine. URL: <http://drone.ua/dji/dji/gclid=CLr72ZTUodQCFQWUsgodw50FCQ> - Date of access: 09/06/2017.
8. Stalemate. for utility model No. 136843 of Ukraine. IPC G05B 17/00. The method of using MBLA at blasting sites in carrying out expert experiments during the execution of ship explosive technical expertise / Kudinov O.O., Hanzzyk A.L., Kravchuk O.V., Hordeev A.I.; - № u201902453; applications 13.03.2019; publ. 09/09/2019, Bul. № 17. - 4 p.

В. В. КОЗЛОВСЬКИЙ
Національний авіаційний університет
О. Л. ТУРОВСЬКИЙ
Державний університет телекомунікацій

СИНТЕЗ СКЛАДНОГО РОЗІМКНУТОГО ЗВ'ЯЗКУ В СИСТЕМІ СИНХРОНІЗАЦІЇ ПРИ УМОВІ МІНІМІЗАЦІЇ ДИСПЕРСІЇ ФАЗОВОЇ ПОМИЛКИ В ХОДІ СТЕЖЕННЯ ЗА НЕСУЧОЮ ЧАСТОТОЮ

У роботі розглянуті питання підвищення ефективності функціонування комбінованої системи синхронізації шляхом синтезу складного розімкнутого зв'язку в напрямку мінімізації дисперсії фазової помилки при умові підтримання високого рівня динаміки роботи системи. Розроблені та подані в роботі математичні залежності, дозволяють провести синтез складного розімкнутого каналу в комбінованій системі синхронізації системи при умові мінімізації дисперсії фазової помилки, що включає в себе дві ланки частотних дискримінаторів. Завдяки проведеній в роботі оцінці впливу параметрів складної ланки розімкнутого зв'язку на мінімізацію дисперсії фазової помилки комбінованої системи синхронізації від рівня сигналу адитивного гаусівського шуму було показано, що: величина дисперсії помилки для комбінованої системи синхронізації значно менша, ніж для замкнутої системи синхронізації (ЗСС) при будь-якому виборі параметрів останньої; швидкодія системи в оптимальному мінімумі дисперсії фазової помилки КСС, мінімізованої по перехідній помилці значно вище, чим для ЗСС при аперіодичному характері перехідного процесу; при застосуванні в якості простого розірваного зв'язку схеми з послідовних ланок частотних дискримінаторів, включених в схему комбінованої системи синхронізації паралельно, мінімальна дисперсія фазової помилки при рості рівня шуму до певної критичної межі має обмеження, а розірваний зв'язок втрачає свою ефективність. Завдання мінімізації фазової помилки при додержанні умови підтримання та збільшення динаміки системи синхронізації може бути вирішене шляхом синтезу більш складних розімкнутих зв'язків, що можуть бути фізично реалізовані.

Ключові слова: синхронізація несучої частоти, комбінована система синхронізації, дисперсія фазової помилки, адитивний гаусівський шум.

V. KOZLOVSKY
National Aviation University
O. TUROVSKY
State University of Telecommunications

SYNTHESIS OF A COMPLEX INTERCONNECTED RELATIONSHIP IN THE SYNCHRONIZATION SYSTEM UNDER THE MINIMIZATION OF PHASE ERROR DISPERSION DURING DISCONTINUATION

The solution to the problem of improving the efficiency of space communication systems directly depends on the quality of operation under the influence of perturbations and noise of individual systems and devices that are part of them. One of the key communication systems, the operation of which significantly affects the efficiency of the input signal, is the synchronization system in the mode of monitoring the carrier frequency. The paper directly considers the issues of increasing the efficiency of the combined synchronization system by synthesizing a complex open connection in the direction of minimizing the variance of the phase error under the conditions of maintaining a high level of system dynamics. The mathematical dependences developed and presented in the work allow to carry out the synthesis of the proposed variant of a complex open connection that includes two links connected in series in a combined system synchronization system, provided that the phase error variance is minimized. Due to the evaluation of the influence of the parameters of the complex link of open communication on the minimization of the phase error dispersion of the combined synchronization system from the signal level of the additive Gaussian noise, it was shown that: the error variance value for the combined synchronization system is much smaller than what choice of parameters of the last; the speed of the system in the optimal minimum of the variance of the phase error of the KSS, minimized by the transient error is much higher than for the SSS with the aperiodic nature of the transient process; when using as a simple broken link a circuit of successive frequency discriminators included in the circuit of the combined synchronization system in parallel, the minimum dispersion of the phase error when the noise level rises to a certain critical limit is limited, and this broken link loses its effectiveness. The problem of minimizing the phase error while maintaining the condition of maintaining and increasing the dynamics of the synchronization system can be solved by synthesizing more complex open connections that can be physically realized.

Keywords: carrier frequency synchronization, combined synchronization system, phase error variance, additive Gaussian noise.

Вступ. Успішне вирішення завдання підвищення ефективності систем космічного зв'язку багато в чому залежить від якості функціонування в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх збурень і шумів окремих систем і пристроїв, що входять до їх складу. Відомо, що в лініях космічного зв'язку основними зовнішніми збуреннями є адитивний гаусівський шум і доплерівські зміщення частоти [1].

В якості однієї з основних систем, що входить до складу різних радіотехнічних пристроїв техніки космічного зв'язку, радіолокації та управління, широко впроваджена система фазової синхронізації. В фазокогерентних системах телекомунікації та управління такі системи застосовуються для відновлення несучої та тактової частот і для когерентної демодуляції аналогових і цифрових сигналів з кутовою модуляцією [2].

Постановка задачі. Питання підвищення якості функціонування комбінованої системи фазової синхронізації (КСС) є постійними важливими науковими завданнями і в ряді досліджень вирішуються методом створення відповідних оптимальних схем її побудови в напрямку мінімізації дисперсії фазової помилки та одночасно, забезпечення високої швидкодії. Очевидно, що вказані схеми вирішують питання

мінімізації фазової помилки через розробку науково обґрунтованих оптимальних схем побудови, які функціонують на основі розроблених математичних моделей. Вказані математичні моделі, в свою чергу, повинні враховувати параметри всіх функціональних складових ланок і елементів вказаної схеми системи синхронізації.

Кінцевим етапом розробки та впровадження таких математичних моделей в технічні рішення та побудованих на їх основі схем синхронізації є вирішення ряду завдань, а саме:

- розробка науково обґрунтованих схем синхронізації систем зв'язку в напрямку мінімізації дисперсії фазової помилки при забезпеченні високої швидкодії системи.

- оцінка граничних можливостей запропонованих схем щодо мінімізації дисперсії фазової помилки при умові дотримання заданого рівня швидкодії системи синхронізації.

В свою чергу, розробка різних варіантів таких схем розімкнутого зв'язку систем синхронізації несучої частоти та оцінка їх можливостей щодо мінімізації дисперсії фазової помилки є окремою науковою задачею, вирішення якої обумовлює актуальність досліджень, що пропонуються до розв'язання в даній роботі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню побудови схем синхронізації та оцінці їх можливостей щодо мінімізації дисперсії фазової помилки присвячено ряд робіт.

В роботі [3] подано результати досліджень щодо аналізу та формалізації опису пристроїв синхронізації таких, які керуються рішенням і таких, які не керуються рішенням. Наведено залежності для дисперсії максимальної правдоподібної оцінки пристрою синхронізації від відношення сигнал/шум, які розроблено для системи без зворотного зв'язку за рішенням. Подані в даній роботі залежності дисперсії максимальної правдоподібної оцінки пристрою синхронізації від відношення сигнал/шум та залежності відхилення помилки синхронізації від відношення сигнал/шум на виході фазового детектору розроблені саме для схеми без зворотного зв'язку. Така схема по суті представляє замкнуту систему синхронізації (ЗСС), а подані в роботі залежності не дозволяють оцінити саме системи з складним розімкнутим зв'язком, які відносяться до іншого класу систем синхронізації.

В роботах [4, 5] описані дослідження, спрямовані в основному на оптимізацію параметрів фільтра та системи в цілому для класу замкнутих систем синхронізації. Однак ЗСС через властиві їм протиріччя не дозволяють в ряді випадків забезпечити необхідну якість роботи. Це особливо відчутно, коли потрібно поліпшити якість системи по двом і більше суперечливим показникам, що показали результати досліджень, подані в роботах [6, 7].

Великі можливості щодо поліпшення якості систем синхронізації є в класі комбінованих систем синхронізації (КСС). Вказані системи можуть поєднувати принципи регулювання по відхиленню та збуренню з одночасним забезпеченням мінімізації дисперсії фазової помилки, що визначалось в якості перспективних методів побудови КСС та висвітлено в роботах [6, 8].

У роботі [9] показано особливості реалізації системи відновлення несучої частоти при когерентній демодуляції сигналу з безперервною фазою. Подана в роботі схема побудови такої системи фазового автопідстроювання частоти по суті є комбінованою системою синхронізації з зворотнім зв'язком. В роботі досліджується питання практичної реалізації вказаної системи на сучасній елементній базі. Але дослідження відносно можливостей розроблених методів та поданої схеми побудови системи синхронізації щодо підвищення астатизму, зменшення дисперсії фазової помилки при стеженні за несучою частотою та оцінки запропонованих методів зменшення дисперсії в даній роботі відсутні.

Автори роботи [10] запропонували метод здійснення в КСС певного типу синхронізації послідовності сигналів, що розширюється в умовах значного перевищення рівня шуму над рівнем інформаційного сигналу. Для синхронізації використовується службовий канал, який працює на одній частоті з інформаційним. Розподіл каналів проводиться при формуванні сигналів квадратурних каналів: синфазний канал використовується для формування фазоманіпульованого сигналу з розширенням спектра, квадратурний канал використовується для передачі сигналу тактової частоти. Можливість по мінімізації фазової помилки та забезпечення швидкодії системи при стеженні за несучою частотою в даній роботі не розглянута.

В роботі [11] подана нова схема модуляції прямої послідовності для систем зв'язку по розподіленому спектру, яка визначена як модуляція затримки та адресування (DADS). Запропонована схема проста в реалізації та не потребує вирівнювання коду вхідного сигналу на її вході, що робить її найбільш оптимальною для передачі коротких сигналів. В роботі не розкрито тип схеми, відносно якої обґрунтовувались висновки, а також відсутнє питання підвищення порядку астатизму в визначеній схемі.

Певні дослідження щодо можливостей мінімізації дисперсії фазової помилки в КСС з розімкнутим зв'язком та один з варіантів побудови КСС, що має таке поєднання поряд з високою швидкістю системи подано в роботах [11, 12]. У вказаних роботах розроблено та подано математичні моделі КСС з розімкнутим зв'язком певного типу та оцінено її можливість щодо мінімізації фазової помилки при порядку астатизму не вище другого. Безпосередньо встановлено, що розімкнутий канал, виконаний у вигляді паралельного (послідовного) включення двох ланок частотного дискримінатора з запропонованою в роботі передавальною функцією, дозволяє підвищити порядок астатизму до третього та вище порядку та не впливає на стійкість системи. У роботі показано, що впливу на дисперсію фазової помилки системи синхронізації, як обґрунтовано в даній роботі, можна досягнути зміною параметрів ланки розімкнутого зв'язку схеми синхронізації системи. Але в вказаних роботах відсутня безпосередня оцінка можливостей мінімізації середньоквадратичної помилки за допомогою розімкнутого (компенсуючого) зв'язку по вхідному сигналу методом зміни його параметрів.

У роботі [13] проведено оцінку можливостей КСС з розімкнутим (компенсуючим) зв'язком щодо мінімізації дисперсії фазової помилки в умовах впливу адитивного гаусівського шуму шляхом підбору параметрів складових елементів схеми побудови даного зв'язку. Подані в роботі результати оцінки показали, що зменшення дисперсії фазової помилки за рахунок введення розірваного зв'язку по заданому рівню впливу залежить від рівня сигналу шуму та від індексу модуляції фази вхідного сигналу. При застосуванні в якості простого розірваного зв'язку частотного дискримінатора, включеного в схему комбінованої системи синхронізації паралельно, мінімальна дисперсія фазової помилки при рості рівня шуму до певної критичної межі має обмеження. А даний розірваний зв'язок втрачає свою ефективність. Питання оцінки більш складних схем розірваного зв'язку в роботі не розглядалися.

Таким чином розробка математичних моделей, які дають змогу синтезувати схеми з складним розімкнутим зв'язком в комбінованих системах синхронізації та оцінка можливостей вказаних схем щодо мінімізації дисперсії фазової помилки є актуальною науковою задачею, розв'язанню якої присвячена дана наукова стаття.

Основна частина. Попередньо встановлено [13], якщо простий розімкнутий зв'язок з передавальною функцією не дозволяє зменшити дисперсію фазової помилки до потрібного значення то представляє практичний інтерес дослідження питання синтезу більш складних варіантів синтезу розімкнутого зв'язку з метою оцінки можливості досягти бажаних результатів в напрямку зменшити дисперсії фазової помилки при стеженні за несучою частотою.

Виходячи з того, що простий розімкнутий зв'язок може бути реалізованим в вигляді паралельної ланки доцільним є дослідження синтезу послідовного поєднання таких ланок, кожна з яких має передавальну функцію виду [13]:

$$W_4(S) = \frac{(K_4 S)}{(T_4 S + 1)}. \quad (1)$$

Що дозволяє легко реалізувати цю ланку в вигляді:

$$W_4(S) = \left(\sum_{i=v_4}^n K_{4i} S^i \right) / \left(\sum_{j=0}^m T_{4j} S^j \right) = D_4(S) / F_4(S)$$

Отримаємо передавальні функції комбінованої системи синхронізації по помилці і за збуренням,

$$W_{\phi K}(S) = \frac{D_{\phi K}(S)}{F_3(S)}, \quad W_K(S) = \frac{D_K(S)}{F_3(S)},$$

підставивши в їх відповідні вирази виразом (1).

Отримаємо співвідношення, визначені виразом (2).

Аналіз виразів (2) показує, що при такому розімкнутому зв'язку в чисельнику і знаменнику його передавальних функцій є певна кількість коефіцієнтів, що залежать від параметрів розімкнутого каналу. Варіюванням вказаними коефіцієнтами в широких межах можна досягти потрібної якості функціонування системи.

Відомо [7] що проста замкнута система синхронізації (ЗСС) є оптимальною по мінімуму дисперсії фазової помилки. А додаткове зменшення вказаної величини в даній системі неможливе через особливості її функціонування. Якщо прийняти в якості вихідної умови неоптимальну структуру ЗСС то представляє практичний інтерес методом оптимізацію її параметрів оцінити можливість забезпечення потрібної якості перехідного процесу в цій системі. Якщо буде отримана позитивна оцінка що до такої можливості, то в подальшому, методом синтезу розімкнутого зв'язку при умові зменшення дисперсії фазової помилки можна

оцінити можливість що до отримання оптимальності системи по $\min \Delta \sigma_{\phi}^2$.

$$W_{\phi K}(S) = \frac{\left[F_3(S) \prod_{i=1}^n F_{ni}(S) - D_3(S) \prod_{i=1}^n D_{ni}(S) \right] F_1(S) F_2(S)}{\left[F_1(S) F_2(S) F_3(S) + D_1(S) D_2(S) D_3(S) \right] \prod_{i=1}^n F_{ni}(S)} = \frac{D_{\phi K}(S)}{F_K(S)}, \quad (2)$$

$$W_K(S) = \frac{\left[D_1(S) D_2(S) \prod_{i=1}^n F_{ni}(S) - F_1(S) F_2(S) \prod_{i=1}^n D_{ni}(S) \right] D_3(S)}{\left[F_1(S) F_2(S) F_3(S) + D_1(S) D_2(S) D_3(S) \right] \prod_{i=1}^n F_{ni}(S)} = \frac{D_K(S)}{F_K(S)}.$$

Визначимо параметр K_4 додаткової ланки розімкнутого зв'язку при якому дисперсія фазової помилки в системі КСС не перевищує мінімального значення $\Delta \sigma_{\phi \text{OPT}}^2$ оптимальної системи. Для цього приймемо, що $\Delta \sigma_{\phi \text{Е}}^2 = \Delta \sigma_{\phi \text{ПО}}^2$ з чого отримаємо наступне рівняння:

$$\delta_1 K_4^2 + \delta_2 K_4 + \delta_3 - \sigma_{\text{OPT}}^2 = 0$$

Значення параметра K_4 , яке можна отримати з цього рівняння, повинно бути позитивним дійсним числом. Для цього необхідно виконати дві умови.

$$\delta_2 < 0 \text{ та } \delta_2^2 - 4\delta_1(\delta_3 - \sigma_{OPT}^2) \geq 0.$$

Перша з цих нерівностей задовольняється при виконанні нерівності (3) [14]:

$$(A_0 K T_1) < \frac{(2q T_2 \omega_c^2 K_m^2)}{(a_0 \omega_c^2 + a_1 \omega_c + a_2)}. \quad (3)$$

Друга нерівність в розгорнутому виді можна подати як:

$$m^2 (A_0 K)^2 - 2q \omega_c^2 K_m^2 (2m+1) (A_0 K) + 4q^2 \omega_c^4 K_m^4 \geq 0$$

При вирішенні цієї нерівності отримаємо наступні дві умови: $m \geq 0,5$, $A_0 K \geq 4\sqrt{q \omega_c} K_m$, тобто, для отримання фізично реалізуємого розімкнутого зв'язку, який забезпечить оптимальне значення дисперсії фазової помилки в системі, параметри замкнутого контуру повинні задовольняти наступній умові [14, 15]:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_0 K T_1 < m \leq (2q \omega_c^2 T_2 K_m^2) / (a_0 \omega_c^2 + a_1 \omega_c + a_2) \\ m \geq 0,5 \\ A_0 K < 5,65 B \end{array} \right\}, \quad (4)$$

$$\text{де } b = \sqrt{2b_1} / 2 = (\sqrt{2q \omega_c} K_m) / 2.$$

Тепер визначимо співвідношення для знаходження параметрів замкнутого контуру з умови забезпечення швидко згасаючого перехідного процесу.

Для того, щоб перехідний процес в КСС завершився в коротший в порівнянні з оптимальною ЗСС термін часу необхідно, щоб корні характеристичного рівняння КСС $F_K(s) = a_0 s^2 + a_1 s + a_2$ (чи їх дійсні частини) по модулю були більші дійсних частин корнів характеристичного рівняння оптимальної ЗСС. Для досягнення цієї умови повинна виконуватися вимога: $a_1 - \sqrt{a_1^2 - 4a_0 a_2} \gg 2a_0 b$, а для того, щоб перехідний процес в КСС був аперіодичним, необхідний також забезпечити виконання умови: $a_1^2 \geq 4a_0 a_2$. При цьому перша умова буде $a_0^2 a_0 b$. Розкривши її отримаємо: $A_0 K T_1 \gg 2B T_2 - 1$.

Умова $a_1^2 \geq 4a_0 a_2$ в розгорнутому виді дає наступні співвідношення.

$$A_0 K T_1 > (2 - m + 2\sqrt{1-m}) / m$$

Отже, спільне рішення нерівностей

$$\left\{ \begin{array}{l} A_0 K T_1 \gg 2B T_2 - 1 \\ A_0 K T_1 > (2 - m + 2\sqrt{1-m}) / m \\ A_0 K T_1 < (2 - m + 2\sqrt{1-m}) / m \end{array} \right\} \quad (5)$$

Дозволяє знаходити параметри замкнутого контуру з умови забезпечення потрібної якості перехідного процесу, а спільний розгляд умов (4) та (5) накладає на параметри замкнутого контуру обмеження, пов'язані з вимогами щодо фізичної реалізуємости розімкнутої ланки.

Введемо наступні позначення:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 2b T_2 - 1, \quad \rho_1 = (2 - m + 2\sqrt{1-m}) / m \\ \rho_3 &= (2q \omega_c^2 T_2 K_m^2) / (a_0 \omega_c^2 + a_1 \omega_c + a_2) = \\ &= \frac{-\omega_c T_2 (1 + T_2) + 4q T_2 \sqrt{1/m + \omega_c T_2}}{2 + m \omega_c T_2} m \end{aligned}$$

Тоді величина $A_0 K T_1$, що задовольняє умовам (4) та (5) може бути записана наступним чином:

$$\rho_1 \ll \rho_2 \leq A_0 K T_1 < \rho_3, \quad (6)$$

чи

$$\rho_1 \ll A_0 K T_1 \leq \rho_2 < \rho_3 \quad (7)$$

Проведемо математичне моделювання для отримання даних, необхідних для аналізу можливостей щодо впливу параметрів складного розімкнутого зв'язку комбінованої системи синхронізації на дисперсію фазової помилки вказаної системи.

На рис. 1 подано результати вказаного моделювання в вигляді залежності $\rho_1 = f(m, T_2)$ з урахуванням вимог, поданих в [14]. Вказані залежності були отримані при наступних значеннях параметрів сигналу і адитивної перешкоди: $q = 50$, $K_m = 5$; $\omega_c = 10^4$; $b = (\sqrt{2q\omega_c K_m} / 2) = 2,25 \cdot 10^5$.

Область допустимих значень параметрів системи, що відповідає умовам (6) та (7), на рис. 1 заштриховані.

Аналіз залежностей, поданих на рис. 1 показує, що $m < 0,5$ умова (6) не виконується (верхній заштрихований сектор перероджується в 0). При $m > 0,5$ в верхньому секторі не виконується друга вимога системи рівнянь (4). Тому для прийнятих значень допустимим є нижній заштрихований сектор параметрів (7) (в цьому секторі $m \in [0; 1]$).

З другої умови нерівності (4) знаходимо $A_0 K \leq 5,65$.

Для $m=0,5$ отримаємо $A_0 K = 3,17 \times 10^5$. Оскільки $\rho_2 (m=0,5) = 0,18$ то в відповідності з (7) прийемо $A_0 K T_1 = 0,17$.

Тоді $T_1 = 5,36 \times 10^{-7}$, $T_2 = 1,01 \times 10^{-6}$. При таких значеннях параметрів системи, корні характеристичного рівняння КСС будуть $S_1 = -5,5 \cdot 10^5$; $S_2 = -6,2 \cdot 10^5$. Тобто її швидкодія в 2,4 рази більше, чим в оптимальній ЗСС, корні характеристичного рівняння якої дорівнюють $S_{1,2} = -2,25 \cdot 10^5 (1 \pm j)$.

Для параметра K_4 розімкнутого зв'язку при цьому отримаємо $K_4 = 0,69$.

Визначимо оптимальні значення параметрів замкнутого контуру з умови максимальної швидкодії при оптимальній дисперсії фазової помилки. Раніш було показано, що при зменшенні параметра T_2 збільшується абсолютне значення корнів характеристичного рівняння та швидкодія. Однак мінімальне значення обмежено умовою (4) тобто умовою фізичної реалізуємості розімкнутого зв'язку:

$$T_2 \geq \frac{(a_1 \omega_c + a_0) A_0 K T_1}{2q \omega_c^2 K_m^2 - A_0 K T_1 \omega_c^2}$$

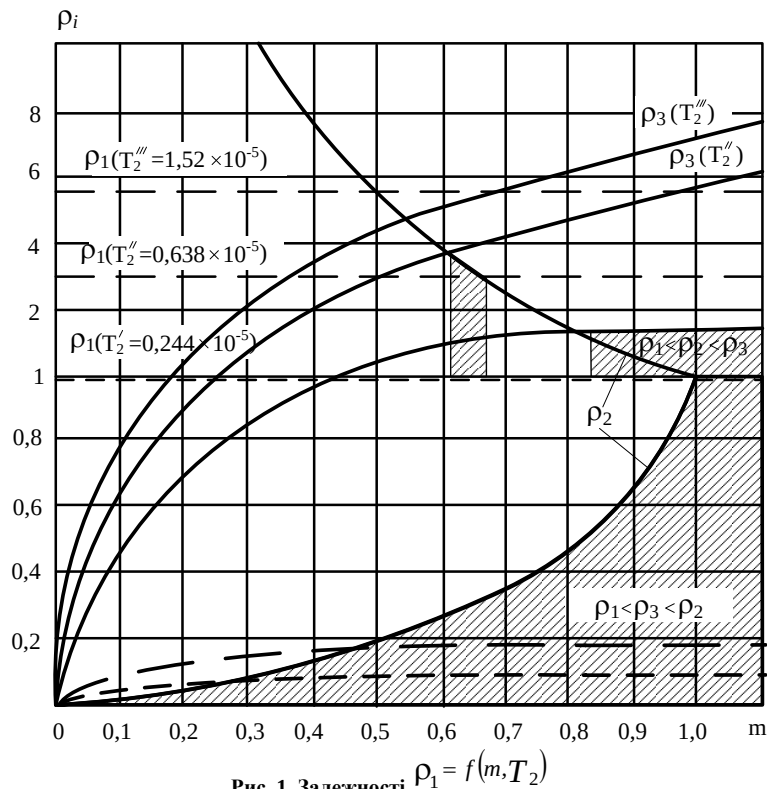


Рис. 1. Залежності $\rho_1 = f(m, T_2)$

Розкривши цей вираз для граничного виразу T_2 отримаємо наступну нерівність:

$$2q \omega_c^2 K_m^2 - m A_0 K T_2 \omega_c^2 = (m A_0 K)^2 T_2 + m A_0 K (\omega_c + A_0 K)$$

Інші параметри розімкнутого контуру будемо шукати з умови задоволення нерівності (7) – $A_0 K T_1 \leq \rho_3$, або в граничному випадку $A_0 K T_1 = \rho_3$.

Замінімо ρ_3 наближеним виразом $\rho_3 \approx (-m \omega_c T_2 + 4b \sqrt{m T_2}) / 2$. Тоді друге рівняння буде $2(m A_0 K) = 4b \sqrt{m - m \omega_c}$.

Знайшовши з нього m (чи $A_0 K$) і підставивши його в попереднє рівняння отримаємо залежність $T_2 = f(A_0 K)$ (чи $T_2 = f(m)$)

Вирішивши рівняння $d T_2 / d m = 0$ з урахуванням області існування m (чи $A_0 K$) (4) знайдемо оптимальне значення параметрів фільтра.

Так, для прийнятих вище значень вони будуть: $T_2 = 0,11 \times 10^{-6}$ м = 0,25; $A_0 K = 1,27 \times 10^6$

Корені характеристичного рівняння КСС при цьому будуть $S_1 = -7,95 \cdot 10^6$.

Отже, швидкодія системи в оптимальному мінімумі дисперсії фазової помилки для КСС, мінімізованої по перехідній помилці вище, чим для ЗСС в 6.44 рази при аперіодичному характері перехідного процесу [15–17].

Такий шлях покращання динаміки дозволяє шляхом оптимізації параметрів замкнутого контуру і відповідним підбором параметрів розімкнутого каналу забезпечити аперіодично швидко затухаючий перехідний процес в системі. Однак він може бути обмежений лиш умовою фізичної реалізації мості ланок системи. Тобто завдання покращання динаміки системи синхронізації може бути вирішене шляхом синтезу більш складних розімкнутих зв'язків, що можуть бути фізично реалізовані. Оцінка таких можливостей та синтез більш складних ланок є окремою науковою задачею, яка буде вирішена в наступних роботах.

Висновки. В роботі розроблені математичні залежності, що дозволяють провести синтез запропонованого варіанту складного розімкнутого зв'язку в комбінованій системі синхронізації системи супутникового зв'язку та здійснена оцінка можливостей щодо перспектив мінімізації дисперсії фазової помилки в таких системах шляхом синтезування більш складних схем складного розімкнутого зв'язку.

1. Запропонована в роботі схема складного розімкнутого зв'язку включає дві ланки, з'єднанні послідовно. Оцінка її можливостей показала перспективність такого способу мінімізації фазової помилки в комбінованих системах синхронізації при умові підвищення динаміки системи.

2. Завдяки проведеній оцінці впливу параметрів складної ланки розімкнутого зв'язку на мінімізацію дисперсії фазової помилки комбінованої системи синхронізації від рівня сигналу адитивного гаусівського шуму було показано, що:

- величина дисперсії помилки для комбінованої системи синхронізації значно менша, ніж для замкнутої системи синхронізації при будь-якому виборі параметрів останньої;
- швидкодія системи в оптимальному мінімумі дисперсії фазової помилки КСС, мінімізованої по перехідній помилці значно вище, чим для ЗСС при аперіодичному характері перехідного процесу;
- при застосуванні в якості простого розірваного зв'язку схеми з послідовних ланок частотних дискримінаторів, включених в схему комбінованої системи синхронізації паралельно, мінімальна дисперсія фазової помилки при рості рівня шуму до певної критичної межі має обмеження, а даний розірваний зв'язок втрачає свою ефективність.

Завдання мінімізації фазової помилки при додержанні умови підтримання та збільшення динаміки системи синхронізації може бути вирішене шляхом синтезу більш складних розімкнутих зв'язків, що можуть бути фізично реалізовані.

Література

1. Горбатий І.В. Системи дистанційного зондування Землі з космосу: монографія / І.В. Горбатий. – Львів : СПОЛОМ, 2011. – 612 с.
2. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
3. Бойко Ю.М. Оцінювання якісних показників пристроїв синхронізації сигналів засобів телекомунікацій / Ю. М. Бойко, Р. Ю. Ночка // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 144–155.
4. Глухов, А. В. Оптимизация параметров цифровых фильтров высокоскоростного модулятора для PLC-модем / А. В. Глухов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 19, № 4. – С. 751–756.
5. Lyons, R. G. Understanding Digital Signal Processing / Lyons, R. G. – Boston : Prentice Hall, 2010. – 992 с.
6. Scheers, B. A Modified Direct-Sequence Spread Spectrum Modulation Scheme for Burst Transmissions / B. Scheers, V. A. Le Nir // Military Communications and Information Systems Conference (MCC'2010). – Wroclaw, Poland, September 27–28 2010, pp. 366–373.
7. Туровський О. Л. Мінімізація дисперсії фазової помилки в системах фазової синхронізації замкнутого типу в режимі стеження за несучою частотою / О. Л. Туровський // Вісник інженерної академії. – 2019. – № 4. – С. 22–27.
8. Шахтарин, Б. И. Анализ систем синхронизации при наличии помех. 2-е изд., перераб. и доп. / Б. И. Шахтарин. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2016. – 360 с.
9. Kay S. Accurate Single Frequency Estimator / S. Kay, A. Fast // IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing. – 1989. – Vol. 37, No 12, pp. 1987–1990. doi: 10.1109/29.45547
10. Тихомиров, А. В. Синхронизация в системах с прямым расширением спектра / А. В. Тихомиров // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 9. – С. 31–35.

11. Le Nir V. Blind CP-OFDM and ZP-OFDM Parameter Estimation in Frequency Selective Channels / V. Le Nir, T. Van Waterschoot, M. Moonen et al. // *Wireless Com Network*. –2009. –No 315765. <https://doi.org/10.1155/2009/315765>
12. Turovsky O. Combined system of phase synchronization with increased order of astatism in frequency monitoring mode / O. Turovsky, Y. Khlaponin, H. M. Muhi-Aldin et al. // *CEUR Workshop Proceedings*. –2020. – Vol. 2616, Session. 1, pp. 53–62.
13. Turovsky O.L. Estimation of the possibilities of the combined synchronization system with open-link to minimize the dispersion of the phase error when tracking the carrier frequency under the conditions of the influence of additive noise / O. L. Turovsky // *Technology audit and production reserves*. –2020. –Vol 3, No 4, pp. 16–22, DOI: 10.15587/2312-8372.2020.210242.
14. Sklar B. *Digital Communications: Fundamentals and Applications Second Edition* / B. Sklar Boston: Prentice Hall, 2017. –1104 p.
15. Бондаренко В. Н. Помехоустойчивость приема спектрально – эффективных шумоподобных сигналов: монография /В. Н. Бондаренко. – Красноярск : Сибирский Федеральный университет, 2015. –160 с.
16. Бойко Ю. М. Підвищення завадостійкості блоків оброблення сигналів супутникових засобів телекомунікацій на основі модифікованих схем синхронізації // *Вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут. Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. – 2015. – № 61. – С. 91–107.
17. J. Boiko, I. Pyatin, O. Eromenko and O. Barabash, "Methodology for Assessing Synchronization Conditions in Telecommunication Devices," *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 5(2), pp. 320-327, March 2020.

References

1. Horbatyy I.V. *Sistemy dystantsiynogo zonduvannya Zemli z kosmosu: monografiya* / I.V. Horbatyy. – L'viv : SPOLOM, 2011. – 612 s.
2. Levin B. R. *Teoreticheskiye osnovy statisticheskoy radiotekhniki* / B. R. Levin. –M.: Radio i svyaz', 1989. – 656 s.
3. J. M. Boiko, R. Yu. Nochka, Quality evaluation synchronization devices signals of telecommunications // *Herald of of Khmelnytsky National University*. No 1, 2015: 144-155.
4. A.V. Glukhov, Optimization of the parameters of digital filters of a high-speed modulator for PLC-modems // *Bulletin of the Tambov State Technical University*. Vol.19, No.4, 2015:751-756
5. Lyons, R. G. *Understanding Digital Signal Processing* / Lyons, R. G. –Boston : Prentice Hall, 2010. – 992 p.
6. B. Scheers V. A Le Nir, Modified Direct-Sequence Spread Spectrum Modulation Scheme for Burst Transmissions // *Military Communications and Information Systems Conference (MCC'2010)*, – Wroclaw, Poland, September 27–28 2010, pp. 366–373.
7. O.L. Turovsky, Minimization of phase error dispersion in closed-phase phase synchronization systems in carrier frequency tracking mode // *Bulletin of the Engineering Academy*. No. 4, 2019: 22-27.
8. Shakhrtarin, BI *Analysis of synchronization systems in the presence of interference*. 2nd ed., Rev. and add. / B. I. Shakhrtarin. - Moscow: Hot line - Telecom, 2016. –360 s.
9. S.Kay, A.Fast, Accurate Single Frequency Estimator // *IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing*. Vol. 37, No 12, 1989: 1987–1990. Doi: 10.1109/29.45547.
10. A. V. Tikhomirov, Synchronization in systems with direct spreading of the spectrum // *Engineering Bulletin of the Don*. No. 9, 2019: 31–35.
11. V. Le Nir, T. Van Waterschoot, M. Moonen et al. Blind CP-OFDM and ZP-OFDM Parameter Estimation in Frequency Selective Channels // *Wireless Com Network*. No 315765? 2009. <https://doi.org/10.1155/2009/315765>.
12. O. Turovsky, Y. Khlaponin, H. M. Muhi-Aldin et al. Combined system of phase synchronization with increased order of astatism in frequency monitoring mode // *CEUR Workshop Proceedings*. Vol. 2616, Session. 1, 2020: 53–62.
13. O. L. Turovsky, Estimation of the possibilities of the combined synchronization system with open-link to minimize the dispersion of the phase error when tracking the carrier frequency under the conditions of the influence of additive noise // *Technology audit and production reserves*. Vol 3, No 4, 2020: 16-22, DOI: 10.15587/2312-8372.2020.210242.
14. B. Sklar. *Digital Communications: Fundamentals and Applications Second Edition* / B. Sklar –Boston: Prentice Hall, 2017. –1104 p.
15. V.N. Bondarenko. *Noise immunity of receiving spectrally - effective noise-like signals: monograph* / V. N. Bondarenko. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2015. – 160 s.
16. Boiko, J. M. (2015) "Increasing the noise immunity of signal processing units of telecommunications on the basis of the modified synchronization schemes", *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika Radioaparatobuduvannia*, (61), pp. 91–107.
17. J. Boiko, I. Pyatin, O. Eromenko and O. Barabash, "Methodology for Assessing Synchronization Conditions in Telecommunication Devices," *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 5(2), pp. 320-327, March 2020.

Надійшла / Paper received: 11.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 04.06.2020

УДК 550.34.013.4

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-27

А. А. ЛУКІЯНЧУК

Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка

МЕТОДИКА ВИДІЛЕННЯ КОРИСНОГО СИГНАЛУ НА ФОНІ ЗАВАД

Сейсмоакустичний моніторинг являє собою режимні спостереження з метою виявлення та ідентифікації сигналів на тлі сейсмічного шуму в сейсмоакустичному діапазоні частот. Мета процесів виявлення та оцінки сейсмічного сигналу на тлі мікросейсмічного шуму полягає в тому, щоб дослідити відмінності між сигналами і шумом, з метою поліпшення спроможності виявлення. Залежно від типу сейсмічних сигналів можуть застосовуватися різні методи виявлення. Процедура, заснована на оцінці ставлення потужності короткострокового сигналу до потужності довгострокового, використовується вже давно. Якщо відношення перевищує встановлений рівень, то приймається рішення, що сталося виявлення, саме цей алгоритм використовується нами при прийнятті рішення про наявність сигналу і грубу оцінку моменту його вступу.

Ключові слова: методика, сейсмоакустика, дистанційна розвідка, сейсмічний сигнал, завада.

A. LUKIYANCHUK

Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv

METHOD OF SIGNAL EXCRETION ON THE BACKGROUND OF INTERFERENCE

The purpose of the detection processes, which will be presented below, is to investigate the differences between signals and noise, in order to improve the detection capability. Depending on the type of seismic signals, different detection methods can be used.

Commonly used method of filtering the observed data is based on information about the ratio of noise and signal energy. In addition, the spectral composition of seismic signals often differs from the spectral composition of noise, and therefore in this case, the comparison of spectral components is proposed as a possible method to obtain optimal filtering. Noise suppression filters can be useful in cases where only the signal characteristics are known. It is possible to distinguish the type of noise suppression filter, when the prehistory of the process, free of signals, noise is expected, and removes the predicted noise in the fragments where the appearance of signals is expected. They require a high level of noise stationary. Even in this case, error prediction filters are usually less effective than conventional bandpass filters. It should be noted that the seismic background noise produced by the total oscillations of the Earth establishes a natural limitation to what can be detected by seismic equipment.

Seismoacoustic monitoring is a mode observation to detect and identify signals on the background of seismic noise in the seismoacoustic frequency range. The purpose of the processes of detection and evaluation of a seismic signal on the background of microseismic noise is to investigate the differences between signals and noise, in order to improve the detection capability. Depending on the type of seismic signals, different detection methods can be used. The procedure is based on the assessment of the ratio of short-term signal power to long-term signal power has long been used. If the ratio exceeds the set level, then a decision is made that the detection occurred. This algorithm is used when deciding on the presence of a signal and a rough estimate of the moment of its entry.

Key words: method, seismoacoustics, remote sensing, seismic signal, interference.

Вступ. Мета процесів виявлення, які будуть представлені нижче, полягає в тому, щоб дослідити відмінності між сигналами і шумом, з метою поліпшення спроможності виявлення. Залежно від типу сейсмічних сигналів можуть застосовуватися різні методи виявлення.

Зазвичай використовується методика фільтрації спостережених даних заснована на інформації, про відношення енергії шуму і сигналу. Крім цього спектральний склад сейсмічних сигналів часто відрізняється від спектрального складу шуму, і тому в такому випадку порівняння спектральних компонентів пропонується, як можливий метод отримати оптимальну фільтрацію. Фільтри, які подавляють шум можуть бути корисні у випадках, де відомі тільки характеристики сигналу. Можна виділити тип шумоподавляючого фільтра, коли по передісторії процесу, вільного від сигналів, передбачається шум, і видаляє передбачений шум в фрагментах, де очікується поява сигналів. Вони вимагають високий рівень стаціонарності шуму. Навіть в цьому випадку, фільтри передбачення помилки зазвичай менш ефективні, ніж звичайні смугові фільтри. Потрібно відзначити, що сейсмічний фоновий шум, вироблений загальним коливанням Землі, встановлює природне обмеження тому, що може бути виявлено сейсмічною апаратурою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для всебічного огляду у цій галузі, можна звернутися до робіт по обробці сигналу [1]. Розглянуті в роботі математичні моделі орієнтовані на автоматичне або на інтерактивне виявлення сигналу в записах, коли ці записи піддавалися попередній обробці по вирахуванню значної частини енергії шуму. Вже давно використовуються процедури, засновані на відношенні потужності короткострокового сигналу до потужності довгострокового: якщо відношення перевищує встановлений рівень, то сталося виявлення [2]. Такий підхід використаний в даній роботі для попередньої, грубої оцінки одного з параметрів, що визначають виявлення сигналу, а саме моменту його появи.

Методика виявлення корисного сигналу на фоні природних і штучних завад. Зазвичай використовується методика фільтрації заснована на інформації, про відношення шуму і сигналу. Спектральний склад «корисних» сигналів зазвичай відрізняється від спектрального складу шуму, і тому порівняння спектральних компонентів пропонується, як можливий метод отримати оптимальну фільтрацію. У тих випадках, коли форма хвилі сигналу, який буде виявлений, відома, можуть використовуватися так звані фільтри форми хвилі [3]. Цю методику можна розглядати, як кореляцію між сигналом, що виявляється і основним сигналом відомої форми. Основний сигнал може бути або синтетичним або попередньо зареєстрованим сигналом.

Шумозаглушувальні фільтри можуть бути корисні у випадках, коли відомий тільки характер сигналу. Такі фільтри можуть також бути цінні для оцінки форм хвилі сигналу, мінімізуючи ефект від спотворення шумом. Є типи шумозаглушувальних фільтрів, які передбачають шум по його передісторії і видаляють передбачений шум. Ці фільтри часто називаються фільтрами помилки передбачення [4], і вимагають високий рівень стаціонарності шуму. Короткоперіодний шум може розглядатися з постійними статистичними характеристиками, принаймні, кілька годин. Навіть в цьому випадку, фільтри передбачення помилки зазвичай менш ефективні, ніж звичайні смугові фільтри [5]. Інший тип шумозаглушувального фільтра – так званий режекторний фільтр, який по суті вирізає шумові піки зі смуги частот [6]. Схематично саме подібний підхід, але для моделі нестационарного шуму, використовувався в даній роботі. Для шумозаглушення розглядалася процедура вирахування з спостережених даних гіпотетичної моделі мікросейсмічного фону з оптимальним значенням вільних параметрів, отриманих на передісторії процесу [7]. Далі будується оптимальна оцінка для сигналу, що приймається на тлі пригніченого таким чином шуму.

Як зазначено О. Дальман [3], природним обмеженням рівня виявлення сигналів є рівень мікросейсмічного фону. Підвищення чутливості сейсмічних сенсорів «впирається» в рівень шумів, присутніх при вимірах. Ця обставина супроводжує вимір як одиночними станціями, так і при групових вимірах великими масивами розосереджених сенсорів. Не вдаючись в аналіз природи мікросейсмічного фону, відзначимо важливу обставину: його статистичні характеристики залежать від часу і місця спостереження, тобто вони нестационарні як в часі, так і в просторі. Флуктуації статичних характеристик від місця спостереження дозволяють скористатися математичною моделлю, заснованою на гіпотезі про істотну роль у формуванні фону фрагментами середовища, безпосередньо прилеглими до місця вимірювань. І природний сейсмічний фон, в кінцевому рахунку, залежить від таких характеристик, як спектральні властивості цих фрагментів, які можуть змінюватися в часі і таким чином відображати тимчасові зміни і в стані об'єкта. Використання таких моделей дозволяє сподіватися на істотне зниження в попередній обробці рівня природного фону і, як результат, зниження рівня виявляється на цьому тлі сейсмічних сигналів. На рис.1 наведено природний фон, зареєстрований на рукотворному об'єкті, спектральні характеристики якого відповідають частині середньоперіодного і частини короткоперіодного піддіапазонів мікросейсмічного фону. Результат після попередньої обробки інформації природного фону, яка призводить реєстрований сигнал до хвилі, тобто криві на рис. 1 відповідають вимогам хвилі [2], а саме:

I. Кінцева енергія $\int_{-\infty}^{\infty} y(t)^2 dt < \infty$, а в нашому випадку це $\int_{t_0}^T y(t)^2 dt < \infty$, де $[t_0, T]$ – інтервал

існування спостережених даних.

II. $\int_0^{\infty} \frac{|F(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty$, де $F(\omega)$ – перетворення функції Фур'є $y(t)$. Ця умова має на увазі, що хвиля

не має нульовий компонент в модулі спектра, тобто відсутність постійної складової.

З огляду на це, для виконання другого пункту, всі дані піддалися наступній обробці: $y(t) - m$, де

$$m = \int_{t_0}^T y(t)^2 dt < \infty.$$

Повністю методика такої обробки викладена Мостовим С. [8].

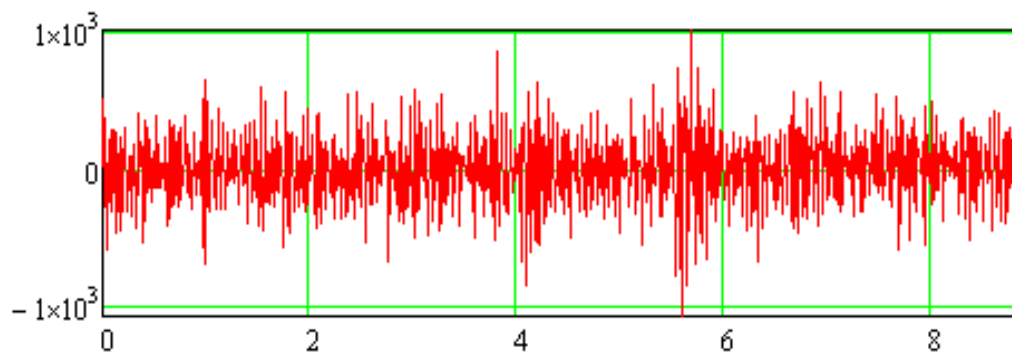


Рис. 1. Природний фон

Виділення сигналу. Наступним етапом попередньої обробки є виявлення і оцінка параметрів сигналу, що приймається на тлі мікросейсмічного шуму. В якості оператора виявлення використовуємо оцінку енергії процесу $E_2(t, T)$ в ковзному вікні фіксованої довжини T в метриці $L_2(T)$:

$$E_2(t, T) = \frac{1}{T} \sqrt{\int_t^{t+T} y(\tau)^2 d\tau}$$

або в метриці $L_1(T)$:

$$E_1(t, T) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} |y(\tau)| d\tau.$$

Як функції часу t та довжини вікна T ці енергії представлені на рис. 2 а для $E_1(t, T)$ и $E_2(t, T)$, а топографія їх рельєфів на рис. 2, б. Суб'єктивність процедури прийняття рішень про наявність сигналу $S(t, \Lambda)$ в спостережених даних $y(t)$ або його відсутність в природному тлі $n(t)$ з енергетичного критерію, тобто однієї з двох альтернатив:

1. $y(t) = n(t)$;
2. $y(t) = n(t) + S(t, \Lambda)$, де Λ – безліч параметрів, що визначають сигнал, добре ілюструється малюнками 3–6.

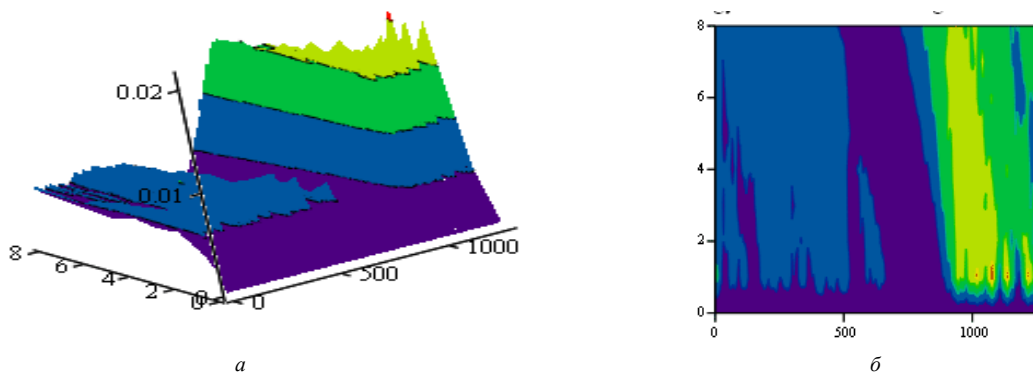


Рис. 2

Ми бачимо, що на результат впливає вибір метрики, вибір довжини ковзного вікна для оцінки рівня енергії в ньому для вже обраної метрики і вибір порога H , для енергії в ковзному вікні, який і визначає рішення на користь однієї з альтернатив.

Математична модель сигналу. В якості моделі сигналу вибираємо суперпозицію рішень диференціального рівняння другого порядку, яка описує суперпозицію осциляторів, що вступили в різні моменти часу, мають свої амплітуди і свої власні частоти.

Оптимальна оцінка параметрів сигналу полягає у визначенні вектора вільних параметрів, які мінімізують значення критерію узгодження моделі зі спостережними даними. На користь такої моделі вказує та обставина, що вона дає гарне узгодження в разі моделювання лінійної системи коливальних об'єктів і, тим самим, враховує осцилюючий характер спостережених даних, а також її простота. Ми вибрали досить простий випадок і в якості критерію узгодження величини норми (інтеграл від квадрата ухилення моделі від спостережених даних $y(t)$ або L_1 (інтеграл від модуля ухилення моделі від спостережених даних $y(t)$). У першому випадку критерій $F(\lambda)$ приймає вигляд:

$$F(\lambda) = \int_T [y(t) - M(t, \lambda)]^2 dt,$$

У другому випадку: $F(\lambda) = \int_T |y(t) - M(t, \lambda)| dt$. А оптимальна оцінка вільних параметрів λ^* –

це точка в просторі параметрів мінімізує формули: $F(\lambda^*) = \min_{\lambda \in \Lambda} F(\lambda)$, $y(t)$ – аналітична апроксимація

вектора значень оброблених спостережених даних, представлених на малюнку 1. Λ – безліч можливих значень вектора λ .

Пошук мінімуму здійснюється за алгоритмом Лівенберга–Марквард [9], для апіорі випадковим чином обраної точки в просторі вільних параметрів моделі.

Аналіз отриманих результатів. Складнощі пошуку глобального мінімуму нашого критерію обумовлені великим числом нелінійно вхідних в модель параметрів. Алгоритм пошуку локального мінімуму, в околі випадковим чином обраної точки в просторі параметрів, здійснюється якнайшвидшим пуском, від цієї точки в найближчий локальний мінімум. Ми бачимо, що при цьому спуску траєкторію «чекає» безліч пасток у вигляді локальних мінімумів. Збіжність до глобального мінімуму може бути пришвидшена, якщо дослідник оперує «хорошими» апіорними знаннями про область можливості значень параметрів, в модель входять нелінійно, наприклад, у вигляді їх апіорних розподілів з малими дисперсіями.

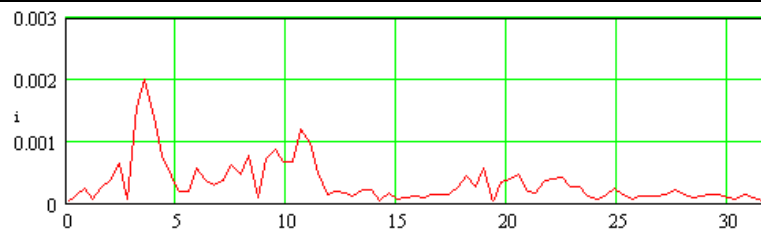
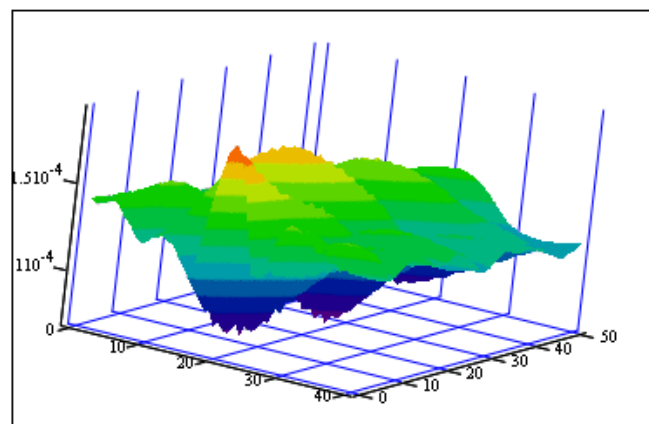


Рис. 3. Модуль спектра Фур'є

На рис. 3 показаний модуль спектра Фур'є $|F(\omega)|$ фрагменту кривої $y(t)$ на ділянці початку інтервалу, обраного з енергетичного критерію, як початку несучого сигнал фрагмента запису, тобто від точки виходу кривої рівня енергії $E_1(t, 8)$ і з-під рівня H_1 до входу під цей рівень або до кінця запису (в нашому виходу до кінця запису). Ця крива дозволяє грубо оцінити значення домінуючих частот в сигналі.

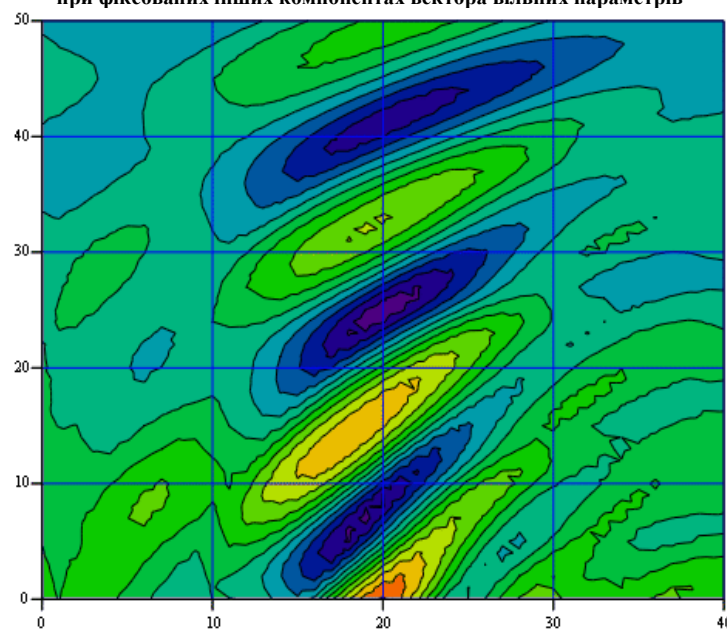
Рішення задач за допомогою симуляції методом Монте-Карло полягає в тому, що по апіорному розподілу векторів вільних параметрів моделі викидається N псевдовипадкових векторів і для кожного з них відшукується найближчий локальний мінімум. Для кожного з локальних мінімумів обчислюється значення критерію. З безлічі локальних мінімумів вибирається точка, яка дає мінімум критерієм з даної множини точок. Ця точка і вибирається в якості рішення.

Узагальнення моделі. Модель може бути узагальнена і для складнішого випадку, а саме потоку недоволених сигналів, тобто коли носії сигналів перетинаються.



МЗ_1

Рис. 4. Залежність критерію, заданого рівнянням, від амплітуди і частоти першої гармоніки при фіксованих інших компонентах вектора вільних параметрів



МЗ_1

Рис. 5. Топографія цього критерію

Оптимальна оцінка матриці вільних параметрів в моделі (рис. 4, 5), виходить як оцінка вільних параметрів, що дає мінімальне значення критерію, на безлічі локальних мінімумів цього критерію. Кожен локальний мінімум обчислюється, як і в разі моделі. Процедура отримання оптимальної оцінки полягає в тому, що для безлічі з псевдовипадкових матриць визначаються точки локальних екстремумів, найближчі до кожної з них, і далі на безлічі локальних мінімумів вибирається глобальний. Точка, яка дає цей мінімум критерію у просторі, і вибирається як оптимальна для вільних параметрів моделі сигналу. Як і раніше для моделі в такій процедурі нам забезпечена збіжність до оптимального рішення по ймовірності з ростом кількості псевдовипадкових матриць. В цьому випадку можна вважати, що ми отримали в результаті рішення суперпозицію трьох сигналів, що вступили в різний час (в нашому прикладі в інтервалі від моменту вступу першого осцилятора до моменту вступу останнього).

Висновки. Використання розглянутої методики фільтрації в системі сейсмоакустичного моніторингу дає можливість істотно знизити вплив перешкоди на спостережені дані. Такий підхід дає можливість більш успішно обробляти спостережені дані з метою прогнозу поведінки досліджуваного об'єкта. Теоретичні положення підтверджуються розрахунками з попередньої обробки і виділення сигналу з даних польових спостережень.

Література

1. Robinson, E.A., 1967. Statistical communication and detection with special reference to digital data processing of radar and seismic signals. Charles Griffin and Co. Ltd., London, 362 p.
2. Frasier, C.W., 1974. Single-channel event detector in real time. In: Seismic Discrimination, Semiannual Technical Summary to the Advanced Research Projects Agency 1 January – 30 June 1974. Massachusetts Institute of Technology, Lincoln Laboratory, p. 51.
3. Dahlman O., Israelson H. Monitoring Underground Nuclear Explosions. Amsterdam-Oxford-New York, 1977, 440 p.
4. Peacock, K.L. & Treitel, S., 1969. Predictive deconvolution. Theory and practice. Geophysics, 34:155–169
5. Gjoystdahl, H. & Husebye, E.S., 1972. A comparison of performance between prediction error and bandpass filters. NTNF/NORSAR, Kjeller, Technical Report No, 43.
6. Capon, J., Greenfield, R.J., Kolker, R.J. & Lacoss, R.T., 1968. Short period signal processing results for the large aperture seismic arrays. Geophysics, 33:452–472.
7. Мостовой С.В. Модели оптимизации динамических параметров объекта в пассивном мониторинге / С.В. Мостовой, В.С. Мостовой // Гефиз. журн. – 2007. – С. 35–41.
8. Mostovoy S., Mostovoi V. Active Monitoring and decision making problem. IJ ITA Vol.12, Number 4, Sofia, 2005, p. 127–135.
9. Соболев М.М. Численные методы Монте-Карло / Соболев М.М. – М. : Наука, 1973. – 311 с.

References

1. Robinson, E.A., 1967. Statistical communication and detection with special reference to digital data processing of radar and seismic signals. Charles Griffin and Co. Ltd., London, 362 p.
2. Frasier, C.W., 1974. Single-channel event detector in real time. In: Seismic Discrimination, Semiannual Technical Summary to the Advanced Research Projects Agency 1 January – 30 June 1974. Massachusetts Institute of Technology, Lincoln Laboratory, p. 51.
3. Dahlman O., Israelson H. Monitoring Underground Nuclear Explosions. Amsterdam-Oxford-New York, 1977, 440 p.
4. Peacock, K.L. & Treitel, S., 1969. Predictive deconvolution. Theory and practice. Geophysics, 34:155–169
5. Gjoystdahl, H. & Husebye, E.S., 1972. A comparison of performance between prediction error and bandpass filters. NTNF/NORSAR, Kjeller, Technical Report No, 43.
6. Capon, J., Greenfield, R.J., Kolker, R.J. & Lacoss, R.T., 1968. Short period signal processing results for the large aperture seismic arrays. Geophysics, 33:452–472.
7. Mostovoy S.V. Modeli optimizacii dinamicheskikh parametrov obekta v passivnom monitoringe / S.V. Mostovoy, V.S. Mostovoy // Gefiz. zhurn. – 2007. – С. 35–41.
8. Mostovoy S., Mostovoi V. Active Monitoring and decision making problem. IJ ITA Vol.12, Number 4, Sofia, 2005, p. 127–135.
9. Sobol M.M. Chislennyye metody Monte-Karlo / Sobol M.M. – M. : Nauka, 1973. – 311 s.

Надійшла / Paper received: 12.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 04.06.2020

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КАНАЛЬНОГО КОДУВАННЯ ДАНИХ КОРИСТУВАЧА КОДАМИ LDPC ДЛЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ 5G

У роботі представлено результати дослідження енергетичної ефективності каналного кодування даних користувача кодами LDPC для систем зв'язку 5G. Розглянуті принципи узгодження швидкості і виконання гібридного автоматичного запиту на повторення (HARQ). Проведений аналіз структурної схеми і моделі каналу зв'язку з кодами LDPC. Дано основи кодів LDPC, що засновані на протографах, поняття розширення протографа і побудови графа Таннера. Розглянуті квазіциклічні коди QC-LDPC та базовий граф коду. Розглянутий алгоритм LDPC-кодування з гаусівським виключенням. Досліджена залежність коефіцієнту бітової помилки від виду декодера. Досліджена залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними видами модуляції, різними версіями надлишковості (RV), різними швидкостями кодування.

Ключові слова: коди LDPC, коди QC-LDPC, енергетична ефективність, зв'язок стандарту 5G, транспортний канал.

I. PYATIN, J. BOIKO
Khmelnytskyi National University

INVESTIGATION OF ENERGY EFFICIENCY OF CHANNEL CODING OF USER DATA BY LDPC CODES FOR 5G COMMUNICATION SYSTEMS

LDPC codes are widely used in practice: they are used by DVB-T2, DVB-S2, DVB-C2, WiFi, WiMax, IEEE 802.15.3. It also provides for the transmission of user data of the transport channel using LDPC codes in 5G communication systems. The paper presents the results of the study of energy efficiency of channel coding of user data by LDPC codes for 5G communication systems. The principles of speed negotiation and execution of a hybrid automatic retry request (HARQ) are considered. The analysis of the structural scheme and model of the communication channel with LDPC codes is carried out. The basics of LDPC codes based on protographs, the concept of protograph extension and construction of the Tanner graph are given. The protograph (base graph) is a bipartite non-oriented multigraph consisting of a set of symbolic and test vertices. In order to obtain a Tanner graph, it is necessary to perform the extension procedure, which consists in the sequential execution of algorithms for copying and rearranging vertices. The quasisyclic QC-LDPC codes and the basic code graph are considered. QC-LDPC codes play an important role in 5G communication and have been adopted as a channel coding scheme for the 5M eMBB data channel. The binary code QC-LDPC can be characterized by the space of the array of rarefied circulators. The parity control matrix H of the QC-LDPC code can be determined by its base graph and shear coefficients. 5G uses two base graphs BG1 and BG2. BG1 is designed for longer block lengths and high speeds, while BG2 is designed for shorter block lengths and low speeds. The LDPC-coding algorithm with Gaussian exclusion is considered. The dependence of the bit error rate on the type of decoder is investigated. Decoders considered: belief dissemination; multilevel algorithm for spreading beliefs; Normalized algorithm for decoding the minimum amount; Algorithm for decoding the minimum amount with an offset. The dependence of the number of bit errors on the signal-to-noise ratio for the LDPC code with different types of modulation, different versions of redundancy (RV), different coding speeds, different length of the transport block is investigated.

Keywords: LDPC codes, QC-LDPC codes, energy efficiency, 5G communication, transport channel.

Вступ. Однією з ключових завдань, що вирішуються розробниками систем зв'язку є завдання виявлення і виправлення помилок, кількість яких в стільникових мережах визначається двома факторами - зовнішніми завадами, а також інтерференцією, що виникає від передавачів сусідніх базових станцій. Останній фактор є особливо важливим для систем мобільного зв'язку 4G-LTE і 5G [1].

Прийняті дані зазвичай відрізняються від даних, що передаються через помилки передачі, викликаних шумом, завадами і завмираннями. Для виправлення цих помилок системи стільникового зв'язку використовують каналні коди прямого виправлення помилок. Канальний кодер використовується в передавачі для перетворення кожного інформаційного блоку, що містить K бітів даних, в довший кодований блок, що містить $N > K$ кодованих бітів, які передаються. У приймачі додаткові $(N - K)$ бітів забезпечують надлишковість каналного декодера, яка дозволяє йому виявляти і виправляти помилки передачі в початкових K інформаційних бітах. Якщо шум, завади або завмирання є особливо інтенсивними, тоді для декодера каналу буде потрібна низька швидкість кодування $R = K/N$, щоб успішно виявляти і виправляти всі помилки передачі. Однак низька швидкість кодування має на увазі передачу великої кількості N кодованих бітів, які споживають час передачі, енергію і ресурси смуги пропускання. Отже, кращі каналні коди дозволяють успішно виявляти і виправляти помилки при швидкостях кодування R , які наближаються до теоретичної пропускну здатності каналу.

Однією зі складових радіоінтерфейсу системи рухомого радіозв'язку, що забезпечує задані характеристики її роботи, є структура логічних, транспортних і фізичних каналів. Логічний канал визначається типом інформації, яку він несе, і розрізняється як канал управління, який використовується для передачі інформації управління і конфігурації, і канал трафіку, який використовується для призначених для користувача даних. Транспортний канал визначається тим, як і з якими характеристиками інформація передається по радіоінтерфейсу. Дані по транспортному каналу організовані в транспортні блоки.

Загальний канал низхідної лінії зв'язку (Downlink Shared Channel, DL-SCH) – це основний транспортний канал, який використовується для передачі даних низхідної лінії зв'язку. Він підтримує ключові функції NR (New Radio), такі як динамічна адаптація швидкості і планування з урахуванням каналу, HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) і просторове мультиплексування [2–5].

Дані, що доставляються з рівня MAC на фізичний рівень, називаються транспортним блоком. Для спільно використовуваного каналу низхідної лінії зв'язку (DL-SCH) транспортний блок проходить етапи обробки, що представлені на рис. 1.

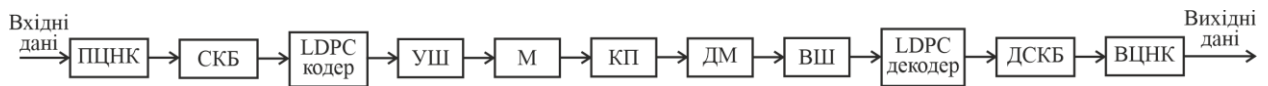


Рис. 1. Структурна схема каналу зв'язку з кодами LDPC (ПЦНК – прикріплення циклічного надлишкового коду (Attach CRC – Cyclic redundancy check); СКБ – сегментація кодового блоку (segmentation); УШ – узгодження швидкості (Rate Match); М – модулятор (Modulate); КП – канал передачі з адитивним білим гаусівським шумом (AWGN Channel); ДМ – демодулятор (Demodulate); ВШ – відновлення швидкості (Rate Recover); ДСКБ – десегментація кодового блоку (desegmentation); ВЦНК – вилучення циклічного надлишкового коду (Remove CRC))

Схеми модуляції в NR аналогічні LTE, включаючи двійкову і квадратурну фазову маніпуляцію (B/QPSK) і квадратурна амплітудна модуляція (QAM) порядків 16, 64 і 256 з двійковим кодом Грея. NR канали управління використовують блокові коди Ріда-Мюллера і перевірку циклічним надлишковим кодом (CRC) з допоміжними полярними кодами (в порівнянні з згортковими кодами з хвостовими бітами в LTE). Канали даних NR використовують квазіциклічні коди перевірки парності з низькою щільністю (LDPC) (в порівнянні з турбо-кодами в LTE [3]). Аналогічна обробка застосовується для UL-SCH, де фізичний спільно використовуваний канал висхідної лінії зв'язку (PUSCH) є одержувачем кодового слова UL-SCH.

Коди LDPC. Коди LDPC сьогодні все ширше застосовуються на практиці: їх використовують стандарти DVB-T2, DVB-S2, DVB-C2, WiFi, WiMax, IEEE 802.15.3. Також передбачено передавання даних користувача транспортного каналу за допомогою кодів LDPC у системах зв'язку 5G. Коди LDPC пропонують кращу спектральну ефективність ніж турбо-коди, і підтримують високу пропускну здатність [1].

LDPC коди – це лінійні блокові коди, перевірочні біти для яких додаються в кінець інформаційного повідомлення – блоком. Процедура кодування (encoding) – є множення вектора інформаційного повідомлення довжиною K на породжувальну матрицю G [2–5]:

$$a = u \otimes G,$$

де a – вихідний сигнал кодера довжиною $1 \times N$; u – інформаційне повідомлення розміром $1 \times K$; G – породжувальна матриця розміром $K \times N$; $\otimes$ – операція множення за модулем 2.

Породжувальна матриця складається з двох з'єднаних частин:

$$G = [I \quad P],$$

де P – парна (parity) частина розміром $K \times (N - K)$; I – одинична (identity) матриця розміром $K \times K$.

Породжувальна матриця безпосередньо пов'язана з іншою найважливішою матрицею, що використовується під час процедури декодування: з матрицею перевірки на парність (parity-check matrix).

Матриця перевірки на парність H має $(N - K)$ рядків і N стовпців, де N відповідає необхідній довжині кодового слова, K відповідає довжині повідомлення: $H = [P^T \quad I]$.

Пряма корекція помилок у системах зв'язку. Суть схеми FEC (Forward Error Correction) полягає в перетворенні переданих блоків даних в кодові слова (шляхом каналного кодування і внесення надлишкової інформації) таким чином, щоб надати приймачу можливість виявляти і відновлювати певну кількість бітів, спотворених при передачі.

Узгодження швидкості – Rate matching.

Узгодження швидкості являє собою функціональний модуль, що доповнює технологію прямої корекції помилок. Цей модуль виконує частину бітів з кодових слів, що формуються схемою FEC, зменшуючи їх довжину до необхідного розміру транспортного блоку. Тим самим, з одного боку знижується обсяг даних, який передається по каналу зв'язку, з іншого – зберігається достатня виправляюча здатність системи. На боці приймача в виколоті передавачем позиції вставляються фіктивні біти, після чого кодові слова відновленої довжини направляються на каналний декодер.

Схема з автоматичним запитом повторної передачі – ARQ (Automatic Repeat request)

Суть схеми ARQ полягає в обчисленні передавачем циклічного надлишкового коду (CRC – Cyclic Redundancy Check) переданого блоку даних, що дозволяє приймачу шляхом порівняння обчисленого і прийнятого значень CRC виявляти пакети, що містять спотворені дані і запитувати їх повторну передачу.

Гібридна схема з автоматичним запитом повторної передачі – HARQ (Hybrid ARQ)

Hybrid ARQ комбінує вищеописані схеми, які застосовуються для корекції помилок. Відповідно до цього, передаюча сторона:

- здійснює кодування переданих даних FEC кодом (із застосуванням функції узгодження швидкості), що дозволяє приймачу відновлювати спотворені при передачі біти (в межах виправляючої здатності коду);

- обчислює код CRC і додає його до переданих даних, даючи можливість приймачу детектувати блоки, що містять невиправлені за допомогою FEC помилки, і запитувати їх повторну передачу.

Структура гібридної схеми з автоматичним запитом повторної передачі приведена на рис. 2.

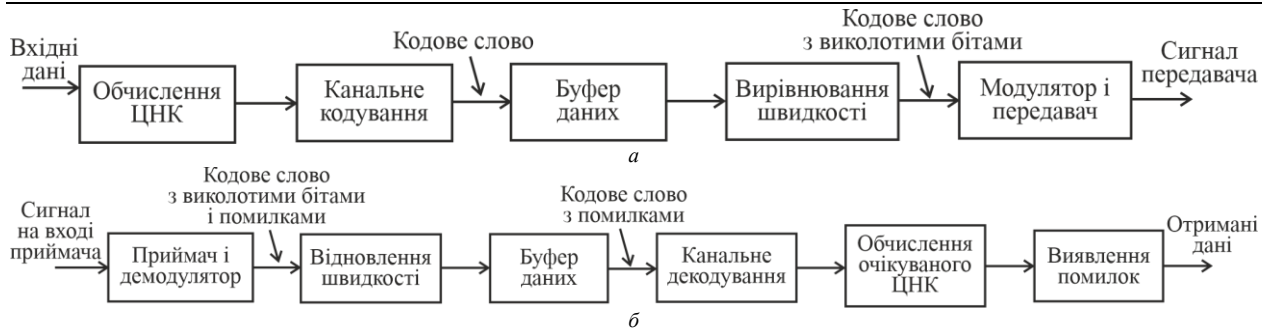


Рис. 2. Структура гібридної схеми з автоматичним запитом повторної передачі (HARQ):
а) передавач; б) приймач

На фізичному рівні забезпечується реалізація математичних алгоритмів по обчисленню циклічного надлишкового коду (CRC – Cyclic Redundancy Check), канальне кодування (Channel coding) і вирівнювання швидкості (Rate matching):

Визначення CRC виконується модулем "CRC calculation". Даний модуль з біт вхідної послідовності $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_{A-1}$ визначає CRC (або біти контролю парності $p_0, p_1, p_2, p_3, \dots, p_{L-1}$) і формує вихідну послідовність $b_0, b_1, b_2, b_3, \dots, b_{B-1}$.

Коди LDPC є лінійними блоковими кодами, що задаються за допомогою перевіркою матриці H , що містить в основному нулі і відносно малу кількість одиниць. Коди LDPC характеризуються порівняно високою швидкістю декодування, що і зумовило їх вибір для використання на високошвидкісних трафікових каналах мереж 5G [6–8].

Узгодження швидкості є частиною схеми Incremental redundancy HARQ. При отриманні пакету з помилками, які не виправлені декодером каналу, приймач зберігає цей пакет в буфері прийому і запитує його повторну передачу. Передавач в рамках кожної повторної передачі (на вимогу приймача) передає пакет даних, що містить різні кодові послідовності. Кожна кодова послідовність створюється з незмінних інформаційних біт, але із застосуванням різних шаблонів для виколування бітів блоком узгодження швидкості (rate matching). Використовуваний шаблон визначається значенням Redundancy version (RV). Значення RV для кожної повторної передачі або попередньо визначено (для синхронного режиму), або транслюється в блоці керуючої інформації (DCI), переданому по каналу PDCCH (для асинхронного режиму). Також передавач може використовувати різні схеми модуляції при різних повторях. Після кожної повторної передачі приймаюча сторона формує комбінований пакет, що містить кодове слово більшої довжини в порівнянні з попередньою ітерацією, а, отже, з більш низькою швидкістю кодування і має більшу виправляючу здатність. Цей комбінований пакет і подається на вхід декодера.

При наявності значних завад, або високому рівні інтерференції кількість повторних передач пакетів даних може бути неприпустимо великою. Щоб обмежити результуючі затримки часу, Hybrid ARQ зазвичай налаштовується так, щоб обмежити максимальну кількість повторних передач, після чого блок визнається непоправно пошкодженим і відкидається. При цьому на більш високому рівні стека протоколів приймача (рівні RLC) проблема може бути виявлена і втрачений пакет буде запрошено повторно за допомогою базової схеми ARQ.

Протограф. В даний час постійно підвищуються вимоги до систем передачі даних, як в області пропускної здатності каналів, так і в напрямку інформаційної достовірності. Завдяки впровадженню ефективних алгоритмів завадостійкого кодування і декодування, серед яких слід особливо відзначити найбільш перспективні з точки зору практичної реалізації турбо і LDPC коди, ці завдання частково вирішуються. Однак, досі відкритим залишається питання підвищення енергетичного виграшу кодування (ЕВК) в області малих шумів, що особливо актуально для систем цифрового телебачення, оптичного зв'язку і зберігання даних. Розробка методів і алгоритмів синтезу кодів низької щільності за деяким набором критеріїв [1–4] є одним з можливих способів вирішення цієї проблеми. Варто відзначити, що більшість критеріїв формування перевірочних матриць спираються на цикли в графах Таннера і їх взаємозв'язок, що робить актуальним завдання швидкої ідентифікації циклів.

Протограф (базовий граф) $G_r = (V, C, E)$ є дводольним неорієнтованим мультиграфом, що складається з множини символічних (V) і перевірочних (C) вершин, а також множини гілок (E), які з'єднують вершини з V і C один з одним. Приклад простого протографа, що включає в себе елементи в кількості $|V| = 3$, $|C| = 2$, де оператор $|\cdot|$ – визначає розмір (потужність) множин, представлений на рис. 3.

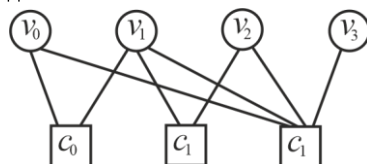


Рис. 3. Початковий протограф

Для того, щоб отримати граф Таннера з структури G_r необхідно виконати так звану процедуру розширення, яка полягає в послідовному виконанні алгоритмів копіювання і перестановки вершин, докладно розглянутих на рис. 4, де коефіцієнт масштабування $q = 3$.

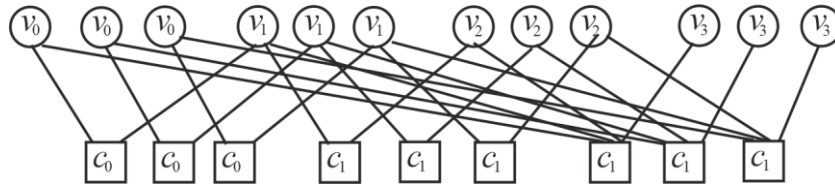


Рис. 4. Три копії початкового протографа

На окрему увагу заслуговує алгоритм перестановки вершин в зв'язку з тим, що він ґрунтується на використанні квадратних матриць π_{ij}^k розміром $[q, q]$, де i і j – номери перевірочних і символних вершин відповідно; k – коефіцієнт кратності паралельних гілок.

У найбільш простому випадку матриця перестановок π_{ij}^k вироджується в одиничну діагональну матрицю.

$$\pi_{11}^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Цикл довжиною g утворюється в розширеному графі тоді, коли виконується рівність виду:

$$\left(\sum_{k=0}^{g/2-1} \Delta_{i_k, i_{k+1}}(j_k) \right) \bmod(q) = 0,$$

де $\Delta_{i_k, i_{k+1}}(j_k) = (c_{i_k, j} - c_{i_{k+1}, j}) \bmod(q)$, $c_{i, j}$ – величина зсуву головної діагоналі квадранта, розташованого у i -у рядку і j -у стовпці перевірочної матриці [2–5].

Коди з малою щільністю перевірок на парність (LDPC) – коди, які визначаються матрицею, що містить переважно нулі і порівняно невелике число одиниць. Позначимо $d_v(d_c)$ – максимальну степінь вершини-символу (вершини-перевірки). Ми будемо розглядати нерегулярні LDPC -коди, для яких визначимо розподіл степенів графа Таннера за допомогою наступних поліномів: $\lambda(x) = \sum_{i=2}^{d_v} \lambda_i x^{i-1}$ і $\rho(x) = \sum_{i=2}^{d_c} \rho_i x^{i-1}$ для вершин- символів і вершин-перевірок відповідно. Стандартний алгоритм ітеративного декодування, відомий як алгоритм поширення довіри (belief propagation), передає повідомлення по ребрах цього графа. Метою цього алгоритму є обчислення максимальної апостеріорної ймовірності (MAP) для кожного біта кодового слова, $P_i = P(c_i = 1 | N)$, що є ймовірністю того, що i -ий біт дорівнює одиниці за умови, що всі перевірки на парність задоволені. Повідомлення, що надсилається вершиною-символом вершині-перевірці уздовж ребра $e \in E$ є логарифмічне відношення правдоподібності (LLR) вершини-символу з урахуванням LLR вершин-перевірок u_i , отриманих за всіма ребрами $e \in E$, що входять. З урахуванням апіорного LLR каналу u_0 :

$$v = u_0 + \sum_{i \in e} u_i,$$

Аналогічно, повідомлення u , що виходить від вершини-перевірки уздовж ребра $e \in E$ – LLR вершини-перевірки з урахуванням LLR вершин-символів v_i отриманих за всіма, ребрами $e \in E$, що входять:

$$\text{tgh}\left(\frac{u}{2}\right) = \prod_i \text{tgh}\left(\frac{v_i}{2}\right)$$

Матриці LDPC-коду можуть бути побудовані за допомогою шаблону, який називають протографом. Протограф – це граф Таннера з невеликим числом вершин, з'єднаних невеликим числом ребер. LDPC -код будується з протографа шляхом копіювання протографа N разів і перестановки ребер між відповідних одному і тому ж типу вузлами початкового протографа. Приклад Графа Таннера наведений на рис. 5.

Отже, розподіл степенів вершин графа Таннера у побудованого таким чином LDPC-коду таке ж, як і у його протографа. Тому, досліджуючи протограф, можна оцінити ітеративний поріг декодування LDPC-коду.

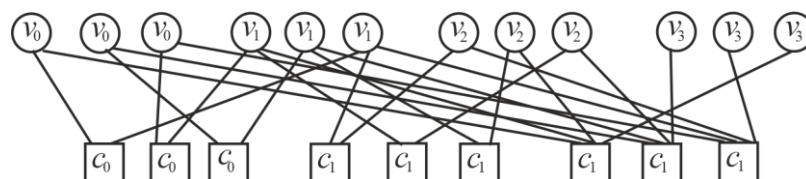


Рис. 5. Граф Таннера LDPC коду

Розглянемо цикл довжиною $g = 4$. При виконанні процедури розширення, за умовою того, що всі коефіцієнти c_{ij} однакові і дорівнюють нулю, отримуємо кратне q разів збільшення числа циклів в розширеному графі, в той же час використання різних значень для c_{ij} дозволяє збільшити довжину циклу в розширеному графі (див. рис. 5).

Коди QC-LDPC. Коди QC-LDPC грають важливу роль в 5G зв'язку і були прийняті в якості схеми каналного кодування для каналу даних 5G eMBB. LDPC коди визначаються їх перевірочними матрицями. Перевірочна матриця QC-LDPC коду задається як масив циркулянтів (перестановочних матриць). Циркулянт є квадратною матрицю $(b \times b)$, в якій кожний наступний рядок є циклічним зсувом вправо на одне місце попереднього рядка. Індекс зсуву визначає позицію «1» в першому рядку матриці. Ваги рядків і стовпців в циркулянті однакові, (наприклад $w = 1$). Для простоти можна сказати, що циркулянт має вагу Хеммінга w . Якщо $w = 1$, то циркулянт є циклічною перестановочною матрицею. Циркулянт повністю характеризується його першим рядком (або першим стовпцем), що називають генератором циркулянту. LDPC код визначається матрицею розміром $n \times m$ де n довжина коду і m число перевірочних бітів в коді. Число інформаційних біт визначається як $K = n - m$. Перевірочна матриця H_{qc} QC-LDPC коду з розмірністю $t \times c$ де $n = b \times t$ і $m = b \times c$, може бути побудована шляхом з'єднання $t \times c$ циклічних перестановочних матриць розмірності $(b \times b)$.

Нехай Z буде розміром циркуляторної матриці перестановок, а $P_{i,j}$ – значенням зсуву. Для будь-якого цілочисельного значення $P_{i,j}$, $0 \leq P_{i,j} \leq Z$, матриця циркуляторних перестановок $Z \times Z$ зсуває матрицю I тотожності $Z \times Z$ вправо на $P_{i,j}$ разів для (i, j) -го не нульового елемента базової матриці. Цей бінарний циркулянт матриці перестановок позначається як $Q(P_{i,j})$. Розглядаючи $Q(1)$ в якості прикладу:

$$Q(1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Для простих позначень $Q(-1)$ позначає нульову матрицю однакового розміру.

Бінарний код QC-LDPC може характеризуватися пустим простором масиву розріджених циркулянтів однакового розміру [2]. Беручи до уваги реалізацію, матриця контролю парності H коду QC-LDPC може бути визначена її базовим графом і коефіцієнтами зсуву $P_{i,j}$. Елементи 1 і 0 базового графу замінюються матрицею циркуляторних перестановок і нульовою матрицею розміром $Z \times Z$ відповідно. Для двох натуральних чисел m_b і n_b з $m_b \leq n_b$, припустимо – код QC-LDPC виражений таким $m_b \times n_b$ масивом $Z \times Z$ циркулянтів над полем Галуа GF(2):

$$H = \begin{bmatrix} Q(P_{1,1}) & Q(P_{1,2}) & \dots & Q(P_{1,n_b}) \\ Q(P_{2,1}) & Q(P_{2,2}) & \dots & Q(P_{2,n_b}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q(P_{m_b,1}) & Q(P_{m_b,2}) & \dots & Q(P_{m_b,n_b}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Експоненційна матриця H , яка є $E(H)$, має наступний вигляд:

$$E(H) = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,n_b} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,n_b} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{m_b,1} & P_{m_b,2} & \dots & P_{m_b,n_b} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Кожен запис в матриці E називається значенням зсуву. Слід зазначити, що матриця перевірки на парність H в рівнянні (2) може бути побудована шляхом розширення матриці $E(H)$ показників степені $m_b \times n_b$. Ця процедура називається побудовою протографа.

На рис. 6 приведена загальна структура базового графу QC-LDPC коду. Стовпці розділені на три частини: інформаційні стовпці, основні стовпці парності і розширені стовпці парності. Рядки розділені на дві частини: рядки перевірки ядра і рядки перевірки розширення. Як показано на рисунку, базова матриця складається з п'яти підматриць, а саме, A , B , O , C і I [2]. Підматриця A відповідає систематичним бітам. Крім того, B відповідає першому набору бітів парності і являє собою квадратну матрицю з дводіагональною структурою: його перший стовпець має вагу 3, тоді як підматриця, що складається з інших стовпців після

першого стовпчика, має верхню дводіагональну структуру, підматриця O є матрицею з усіма нулями. Для ефективної підтримки гібридного автоматичного повторного запиту з інкрементною надлишковістю (IR-HARQ) використовується розширення на основі однієї перевірки парності (SPC) для підтримки більш низьких швидкостей, як показано на рис. 6. Підматриця C відповідає рядкам SPC, а I є одинична матриця, яка відповідає другому набору бітів парності, тобто розширення SPC. Комбінація A і B називається ядром, а інші частини (O , C і I) називаються розширеннями. Ця структура коду схожа на Raptor-подібне розширення, як описано в [2].

3GPP погодився розглянути два сумісних по швидкості базових графа, позначених BG1 і BG2, для кодування каналу. Базові графи BG1 і BG2 мають схожі структури. Проте, BG1 призначений для великих довжин блоків ($500 < K < 8448$) і більш високих швидкостей ($1/3 < R < 8/9$), тоді як BG2 призначений для менших довжин блоків ($40 < K < 2560$) і більш низьких швидкостей ($1/5 < R < 2/3$). Базовий граф, який підтримує $K_{\max}$, повинен підтримувати наступний набір величин зсуву Z , де $Z = a \times 2^j$ для $E \in \{2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15\}$ і $0 < j < 7$.

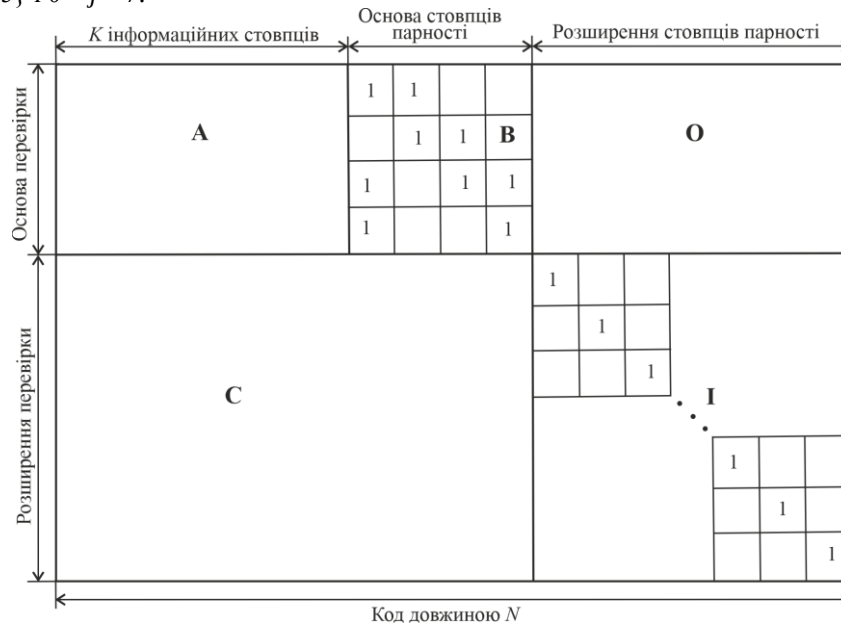


Рис. 6. Схема базової структури контролю парності для кодів 5G NR QC-LDPC.

Для базових графів BG1 і BG2 число конструкцій коефіцієнтів зміщення дорівнює 8. Всі розміри підйому діляться на вісім наборів на основі параметра a , де a використовується для визначення розміру підйому $z_c = a \cdot 2^j$.

Значення зсуву $P_{i,j}$ може бути обчислено з використанням функції $P_{i,j} = f(V_{i,j}, Z)$, де $V_{i,j}$ – коефіцієнт зсуву (i, j) -го елементу у відповідній схемі зсуву. Функція f визначається як рівняння (4), в якому mod позначає арифметику по модулю:

$$P_{i,j} = f(V_{i,j}, Z) = \begin{cases} -1 & V_{i,j} = 1 \\ \text{mod}(V_{i,j}, Z) & \text{для інших } V_{i,j} \end{cases} \quad (4)$$

Наступні процедури представляють собою етапи побудови матриці перевірки на парність цільового (N, K) коду QC-LDPC з заданим розміром інформаційного блоку K і швидкістю кодування $R = K/N$. Для базового графа, k_b позначає число інформаційних циркулянтних колонок; таким чином, якщо розмір підйому дорівнює z_c , $K = z_c \cdot k_b$.

1. Отримати базовий граф BG1 або BG2 і визначити значення k_b для заданих K і R . Для BG1, $k_b = 22$. Для BG2, $k_b = 10$.

2. Визначте z_c , так що $k_b \cdot z_c \geq K$.

3. Після визначення величини Z підйому відповідна матриця коефіцієнтів зміщення потім вибирається відповідно до набору z_c .

4. Розрахувати значення коефіцієнта зміщення $P_{i,j}$ за допомогою операції по модулю, за рівнянням (4).

5. Замінити кожний запис в кінцевій матриці показників відповідною матрицею циркулянтних перестановок або нульовою матрицею розміром $z_c \times z_c$. Побудова коду QC-LDPC завершено, і отримана матриця перевірки на парність H розміром $m_b z_c \times n_b z_c$. У кодах 5G QC-LDPC виконується укорочення і виколування для отримання бажаної довжини інформації та адаптації швидкості. На рис. 7 представлена ілюстрація процесу кодування цих кодів.



Рис. 7. Укорочення шляхом заповнення нулями і виколування стандартних кодів 5G QC-LDPC.

Алгоритми кодування LDPC. З огляду на матрицю перевірки парності H , метою кодування LDPC є рішення рівнянь парності:

$$HC^T = 0^T,$$

де C – систематичне кодове слово, яке складається з інформаційного біта-вектора S і кодового вектора парності P .

LDPC-кодування з гаусівським виключенням

Гаусове виключення є найбільш загальноприйнятим методом кодування кодів LDPC, який виконується шляхом множення матриці G -генератора і містить квадратичну складність по довжині блоку [19]. Невідома генераторна матриця G може бути отримана з перевіркою матриці H . Генераторна матриця для коду з перевіркою матрицею H може бути отримана шляхом виконання виключення Гаусса–Жордана на H в такій формі:

$$H = [A \quad I_{N-K}], \quad (5)$$

де A – $(N-K) \times K$ двійкова матриця, а I_{N-K} – одинична матриця порядку $(N-K)$. Матриця генератора виглядає наступним чином:

$$G = [I_K \quad A^T] \quad (6)$$

Кодове слово C потім виходить шляхом множення матриці G генератора на систематичні біти S наступним чином:

$$C = SG. \quad (7)$$

Послідовний LDPC-кодер, заснований на збільшенні матриці G , вимагає ПЗУ для зберігання матриці генератора, використовуваної для обчислення кодового слова C . Основний недолік цього підходу полягає в тому, що, на відміну від матриці H перевірки на парність, відповідна матриця G генератора не буде розрідженою. Складність цього простого алгоритму кодування становить $O(N^2)$, де N – кількість бітів в кодовому слові. Отже, реалізація множення матриць у кодері призводить до дуже високої складності. Для довільної матриці перевірки на парність слід уникати побудови G і виконувати кодування з використанням зворотної заміни на H .

Дослідження залежності коефіцієнта бітової помилки коду LDPC від виду декодера. Досліджено чотири алгоритми декодування LDPC.

Алгоритм поширення переконань (Belief propagation)

Згідно з алгоритмом поширення переконань, для переданого кодового слова $c = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1})$, на вхід декодера надходять значення логарифмічного відношення правдоподібності (LLR),

$$L(c_i) = \log \left(\frac{P(c_i | u = 1)}{P(c_i | u = 0)} \right),$$

де $P(c_i | u = 1)$ – умовна ймовірність приймання c_i , якщо була передана логічна одиниця; $P(c_i | u = 0)$ – умовна ймовірність приймання c_i , якщо був переданий логічний нуль.

На кожній ітерації ключові компоненти алгоритму оновлюються на основі наступних рівнянь:

$$L(r_{ji}) = 2 \operatorname{arctgh} \left(\prod_{i \in V_j \setminus i} \operatorname{tgh} \left(\frac{1}{2} L(q_{ij}) \right) \right),$$

$$L(q_{ij}) = L(c_i) + \sum_{j \in C_i \setminus j} L(r_{ji}), \text{ Ініціалізований як } L(q_{ij}) = L(c_i) \text{ до першої ітерації,}$$

$$L(Q_i) = L(c_i) + \sum_{j \in C_i} L(r_{ji})$$

В кінці кожної ітерації $L(Q_i)$ є оновленою оцінкою значення LLR для переданого біта c_i .

Значення $L(Q_i)$ є виходом м'якого рішення для c_i . Якщо $L(Q_i) < 0$, вихід жорсткого рішення для c_i дорівнює 1. В іншому випадку вихід дорівнює 0.

Набори індексів $C_i \setminus j$ і $V_j \setminus i$ засновані на матриці контролю парності (МКП). Набори індексів C_i і V_j відповідають всім ненульовим елементам в стовпці i і рядку j МКП, відповідно.

Коли аргумент «ім'я-значення» «Завершення» встановлено на «тах», декодування завершується після числа ітерацій $\maxNumIter$. Коли «Завершення» встановлено на «раннє», декодування припиняється, коли всі перевірки на парність виконані ($Hc^T = 0$) або після виконання $\maxNumIter$ кількості ітерацій.

Багаторівневий алгоритм поширення переконань (Layered belief propagation)

Згідно з багаторівневим алгоритмом поширення переконань, цикл декодування повторюється по підмножини рядків (шарів) МКП. Для кожного рядка m на рівні i кожного бітового індексу j реалізація оновлює ключові компоненти алгоритму на основі наступних рівнянь:

$$L(q_{mj}) = L(q_j) - R_{mj} \quad (8)$$

$$A_{mj} = \sum_{n \in N(m)} \psi(L(q_{mn})), \quad (9)$$

$$s_{mj} = \prod_{n \in N(m)} \text{sign}(L(q_{mn})), \quad (10)$$

$$R_{mj} = -s_{mj} \cdot \psi(A_{mj}) \quad (11)$$

$$L(q_j) = L(q_{mj}) + R_{mj} \quad (12)$$

Для кожного рівня рівняння декодування працює на комбінованому вході, отриманому з поточних входів LLR $L(q_{mj})$. І попередній рівень оновлень R_{mj} .

Структурна схема декодера LDPC коду приведена на рис. 8.

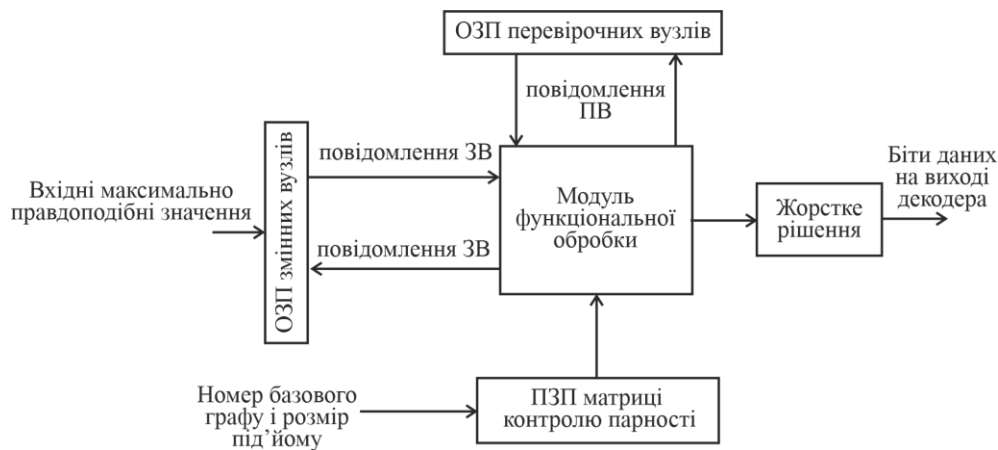


Рис. 8. Структурна схема декодера LDPC коду (ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій; ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій; ПВ – перевірки вузли; ЗВ – змінні вузли)

Блок Functional Processing Unit обчислює повідомлення змінних вузлів (ЗВ) і повідомлення перевірок вузлів (ПВ) на основі багаторівневого поширення переконань за допомогою алгоритму апроксимації мінімальної суми.

Оскільки на рівні оновлюється тільки підмножина вузлів, багаторівневий алгоритм поширення переконань швидше в порівнянні з алгоритмом поширення переконань.

Нормалізований алгоритм декодування мінімальної суми (Normalized min-sum)

Реалізація нормалізованого алгоритму декодування мінімальної суми виходить з багаторівневого алгоритму поширення переконань із заміною рівняння (9) на рівняння:

$$A_{mj} = \min_{n \in N(m)} (|L(q_{mn})| \cdot \alpha),$$

де α знаходиться в діапазоні $[0, 1]$ і є коефіцієнтом масштабування, заданим ScalingFactor. Це рівняння є адаптацією рівняння (4), представленого в [4].

Алгоритм декодування мінімальної суми з зміщенням (Offset min-sum)

Реалізація алгоритму декодування мінімальної суми з зміщенням виходить з багаторівневого алгоритму поширення переконань із заміною рівняння (9) на рівняння:

$$A_{mj} = \max \left(\min_{n \in N(m)} (|L(q_{mn})| - \beta), 0 \right),$$

де $\beta \geq 0$ визначає зміщення.

Залежність кількості бітових помилок від відношення «сигнал–шум» для коду LDPC з різними алгоритмами роботи декодера для модуляції QPSK [9-13] наведена на рис. 9.

Алгоритм Layered Belief Propagation для коду QC-LDPC з модуляцією 16-QAM на 0,15 дБ ефективніший алгоритму Belief Propagation і на 0,9 дБ ефективніший алгоритму Offset min-sum за енергетичним критерієм на рівні $BER = 10^{-5}$. Найменшу енергетичну ефективність має алгоритм Normalized min-sum.

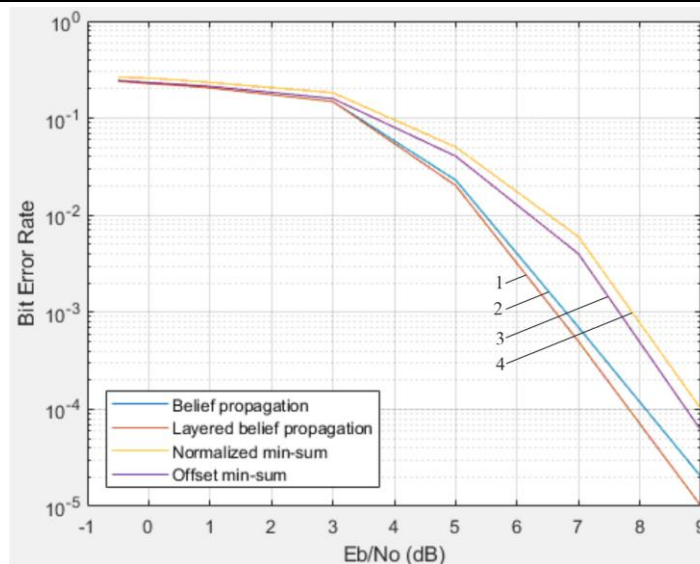


Рис. 9. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними алгоритмами роботи декодера для модуляції QPSK (1 – алгоритм Belief propagation; 2 – алгоритм Layered belief propagation; 3 – алгоритм Normalized min-sum; 4 – алгоритм Offset min-sum)

Дослідження енергетичної ефективності LDPC кодів. Основними критеріями ефективності різних видів модуляції і кодування є критерії спектральної та енергетичної ефективності. Енергетична ефективність характеризує енергію, яку необхідно затратити для передачі інформації із заданою вірогідністю (ймовірністю помилки). Спектральна ефективність характеризує смугу частот, необхідну для того, щоб передавати інформацію з певною швидкістю.

Розглянемо коди LDPC з різними видами модуляції. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними видами модуляції приведена на рис. 10.

Найкращу енергетичну ефективність має модуляція QPSK. Модуляція 16QAM на 6 дБ енергетично ефективніша модуляції 64QAM, але має у 1,5 разів меншу спектральну ефективність [6–8].

Кількість доступних ресурсів для передачі може динамічно змінюватись в системі стільникового зв'язку, і коди 5G LDPC повинні підтримувати функціональність узгодження швидкості для вибору довільної кількості переданих бітів. Операція HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) і відповідна операція узгодження швидкості кодів 5G LDPC управляються версією надлишковості (RV) від 0 до 3. Кожна версія надлишковості відповідає певній позиції стовпчика базового графа, який ділить базовий граф, виключаючи дві проколоти колони на чотири частини. Передані біти, що відповідають певній версії надлишковості, складаються з вихідного сигналу кодера, починаючи з певної позиції стовпчика.

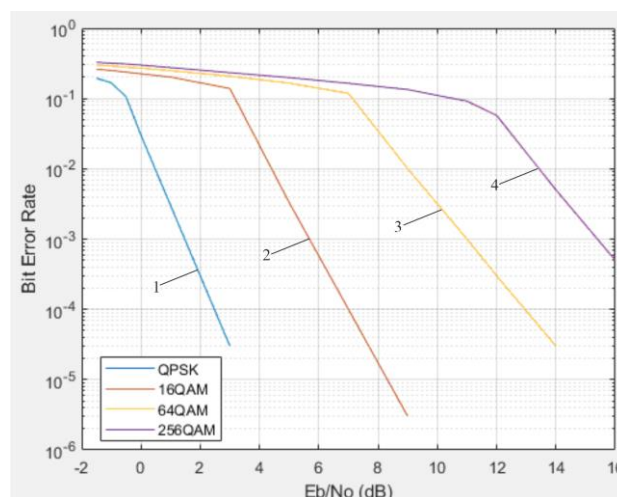


Рис. 10. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними видами модуляції (1 – модуляція QPSK; 2 – модуляція 16QAM; 3 – модуляція 64QAM; 4 – модуляція 256QAM)

Довжина передачі для кожної версії надлишковості визначається кількістю доступних ресурсів передачі. Початкова передача повинна починатися з версії надлишковості 0, що відповідає третьому стовпцю базового графа. Через різну кількість доступних ресурсів кожна повторна передача може мати або не мати стовпців, що перекриваються. Якщо довжина передачі, що починається з позиції стовпчика певної версії надлишковості, перевищує розмір матриці перевірки на парність (або її частина, якщо діє обмеження буфера HARQ), то така передача включає в себе вихідні дані кодера більш ранніх стовпців після обходу,

виключаючи проколоті перші дві колонки. Вихідні дані кодеру, відповідні проколотим першим двом стовпчикам, ніколи не передаються.

У 5G кодах LDPC подальша операція перемежування бітів застосовується після вибору переданих бітів, який виконується перемежувачем рядків-стовпців. Однією з головних завдань цього перемежувача є розподіл інформаційних бітів для кращого розташування бітових каналів.

Операція узгодження швидкості кодів LDPC управляються версією надлишковості (RV) від 0 до 3. Кожна версія надлишковості відповідає певній позиції стовпчика базового графа. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними версіями надлишковості зображена на рис. 2.

Дослідження енергетичної ефективності модуляції QPSK з різними версіями надлишковості (rv). Залежності кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними версіями надлишковості і швидкостями $R = 0,44$ і $R = 0,25$ для модуляції QPSK наведені на рис. 11 та рис. 12.

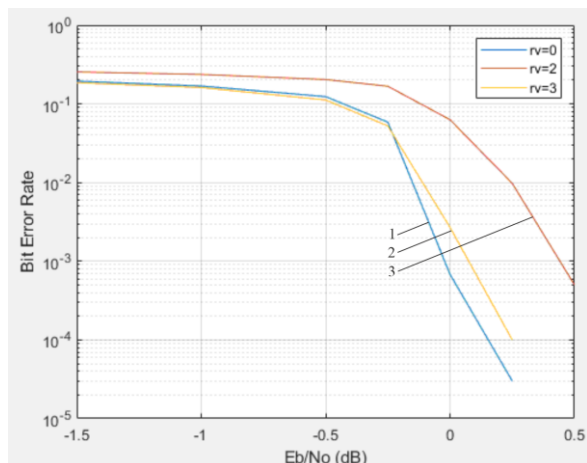


Рис. 11. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними версіями надлишковості і швидкістю $R = 0,44$ для модуляції QPSK (1 – RV = 0; 2 – RV = 3; 3 – RV = 2)

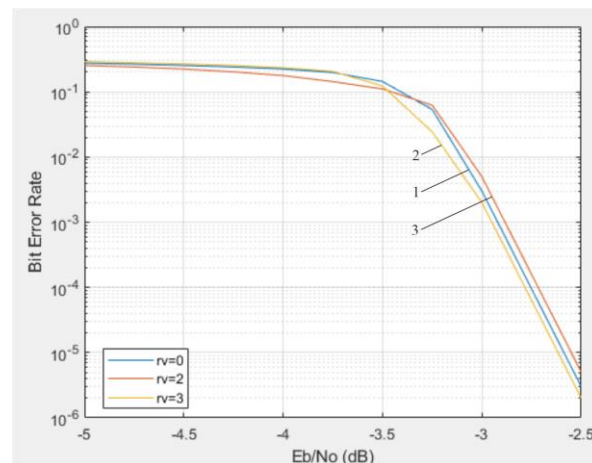


Рис. 12. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними версіями надлишковості і швидкістю $R = 0,25$ для модуляції QPSK (1 – RV = 0; 2 – RV = 3; 3 – RV = 2)

Енергетично виграним є використання версії надлишковості RV=0 і RV=3. Збільшення швидкості LDPC коду з $R = 0,25$ до $R = 0,44$ потребує збільшення потужності передавача на 2,5 дБ.

Залежності кількості бітових помилок від відношення «сигнал-шум» для коду LDPC з різними швидкостями коду і модуляцією QPSK зображена на рис. 13 та рис. 14.

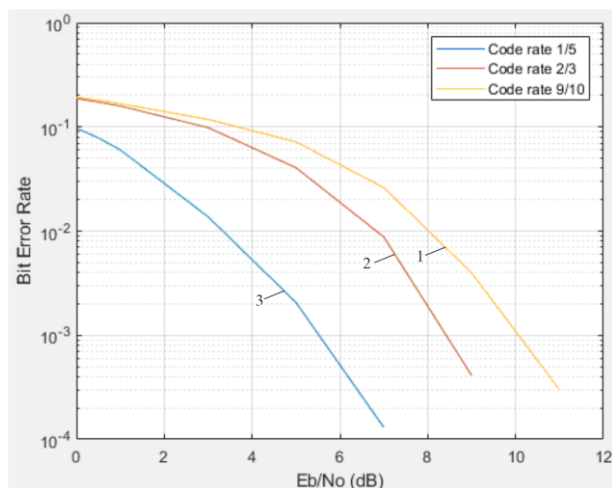


Рис. 13. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними швидкостями для модуляції QPSK (1 – $R=9/10$; 2 – $R=2/3$; 3 – $R=1/5$)

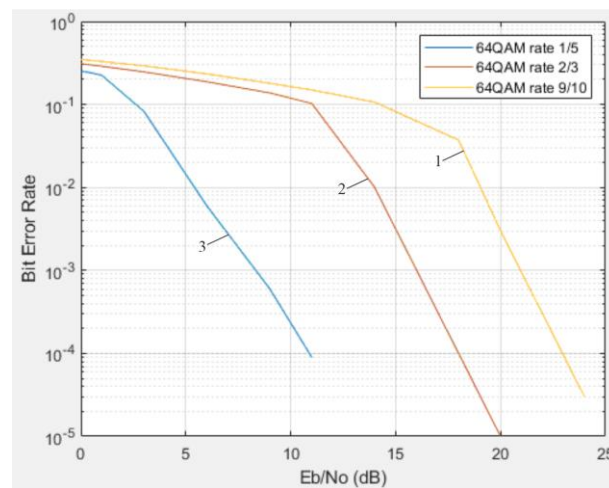


Рис. 14. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними швидкостями для модуляції 64QAM (1 – $R=9/10$; 2 – $R=2/3$; 3 – $R=1/5$)

Чим менша кодова швидкість системи зв'язку з кодуванням LDPC, тим вище енергетична ефективність. Для модуляції QPSK перехід від кодової швидкості 1/5 до кодової швидкості 9/10 потребує збільшення потужності передавача на 4 дБ.

При переході від модуляції QPSK до модуляції 64QAM з кодовою швидкістю 2/3 необхідно збільшувати потужність передавача на 10 дБ. Для модуляції 64QAM перехід від кодової швидкості 1/5 до кодової швидкості 9/10 потребує збільшення потужності передавача на 11 дБ.

Залежність кількості бітових помилок від відношення «сигнал–шум» для коду LDPC з різною довжиною транспортного блоку і модуляцією QPSK зображена на рис. 4.

Залежність кількості бітових помилок від відношення «сигнал–шум» для коду LDPC з різною довжиною транспортного блоку для модуляції QPSK наведена на рис. 15.

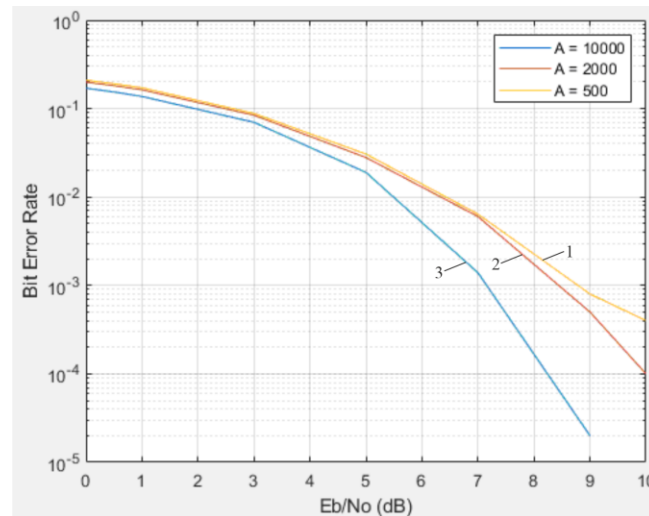


Рис. 15. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різною довжиною транспортного блоку для модуляції QPSK (1 – A=500; 2 – A=2000; 3 – A=10000)

З збільшенням довжини блоку збільшиться енергетична ефективність системи зв'язку.

При збільшенні довжини транспортного блоку з A=2000 до A=10000 енергетична ефективність підвищується на 1,5 дБ.

Висновки. В роботі представлено результати дослідження енергетичної ефективності каналного кодування даних користувача кодами LDPC для систем зв'язку 5G. Проведений аналіз структурної схеми і моделі каналу зв'язку з кодами LDPC. Досліджена залежність коефіцієнта бітової помилки коду LDPC від виду декодера. Алгоритм Layered Belief Propagation для коду QC-LDPC з модуляцією 16-QAM на 0,15 дБ ефективніший алгоритму Belief Propagation і на 0,9 дБ ефективніший алгоритму Offset min-sum за енергетичним критерієм на рівні BER=10⁻⁵. Найменшу енергетичну ефективність має алгоритм Normalized min-sum. Досліджена залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними видами модуляції. Найкращу енергетичну ефективність має модуляція QPSK. Модуляція 16QAM на 6 дБ енергетично ефективніша модуляції 64QAM, але має у 1,5 рази меншу спектральну ефективність. Досліджена енергетична ефективність модуляції QPSK з різними версіями надлишковості (RV). Енергетично виграним є використання версії надлишковості RV=0 і RV=3. Збільшення швидкості LDPC коду з R= 0,25 до R= 0,44 потребує збільшення потужності передавача на 2,5 дБ. Досліджені 5G-LDPC коди з різними швидкостями і модуляцією QPSK. Чим менша кодова швидкість системи зв'язку з кодуванням LDPC, тим вище енергетична ефективність. Для модуляції QPSK перехід від кодової швидкості 1/5 до кодової швидкості 9/10 потребує збільшення потужності передавача на 4 дБ. При переході від модуляції QPSK до модуляції 64QAM з кодовою швидкістю 2/3 необхідно збільшувати потужність передавача на 10 дБ. Для модуляції 64QAM перехід від кодової швидкості 1/5 до кодової швидкості 9/10 потребує збільшення потужності передавача на 11 дБ. З збільшенням довжини блоку збільшується енергетична ефективність системи зв'язку. При збільшенні довжини транспортного блоку з A=2000 до A=10000 енергетична ефективність підвищується на 1,5 дБ.

Література

1. J. Bae, A. Abotabl, H. Lin, K. Song, and J. Lee, "An overview of channel coding for 5G NR cellular communications," APSIPA Trans. on Signal and Inform. Proces., 8, E17, June 2019. <https://doi.org/10.1017/ATSIP.2019.10>.
2. T.T.B. Nguyen, Tan, T. Nguyen and H. Lee, "Efficient QC-LDPC Encoder for 5G New Radio," Electronics, 8, 668, June 2019. <https://doi.org/10.3390/electronics8060668>.
3. J. Boiko, I. Kovtun and S. Petrashchuk, "Productivity of telecommunication systems with modified signal-code constructions," 2017 IEEE 4th Inter. Scientific-Practical Conf. Problems of Infocom. Science and Technology (PIC S&T), Kharkov, 2017, pp. 173-178, <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246374>.
4. J. Boiko, I. Pyatin, O. Eromenko and M. Stepanov, "Method of the adaptive decoding of self-orthogonal codes in telecommunication," Indones. Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 19, no. 3, pp. 1287-1296, Sept. 2020, <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v19.i3.pp1287-1296>.
5. Y. Fang, G. Bi, Y. L. Guan and F. C. M. Lau, "A Survey on Protograph LDPC Codes and Their Applications," in IEEE Commun. Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 4, pp. 1989-2016, Fourthquarter 2015, <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2436705>.

6. J. Boiko, O. Eromenko, "Signal Processing in Telecommunications with Forward Correction of Errors," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol.11, no. 3, pp. 868–877, Sept. 2018 DOI: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v11.i3.pp.868-877>.

7. 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.

8. Бойко Ю. М. Дослідження ефективності алгоритмів канального кодування в захищених телекомунікаційних системах передавання інформації / Ю. М. Бойко, Д. А. Макаришкін, О. І. Пасічник // Зв'язок: загальногалуз. наук.-вироб. журн. – Київ, 2016. – № 5. – С. 56–67.

9. A. D. Liveris, Z. Xiong and C. N. Georgiades "Compression of binary sources with side information at the decoder using LDPC codes," IEEE communications letters, vol. 6, no. 10, pp. 440–442, 2002.

10. S. Myung, Y. Kyeongcheol, and K. Jaeyoel. "Quasi-cyclic LDPC codes for fast encoding." IEEE Transactions on Information Theory, vol. 51, no. 8, pp. 2894–2901, 2005.

11. D. E. Hocevar, "A reduced complexity decoder architecture via layered decoding of LDPC codes." IEEE Workshop on Signal Processing Systems, 2004. SIPS 2004. IEEE, 2004.

12. M. Yang, W. E. Ryan, Y. Li, "Design of efficiently encodable moderate-length high-rate irregular LDPC codes," IEEE Transactions on Communications, vol. 52, no. 4, pp. 564–571, 2004.

13. J. Boiko, I. Pyatin and O. Eromenko, "Farrow Interpolator Features in QPSK Telecommunication Devices." 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). IEEE, 2020. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235410.

Reference

1. J. Bae, A. Abotabl, H. Lin, K. Song, and J. Lee, "An overview of channel coding for 5G NR cellular communications," APSIPA Trans. on Signal and Inform. Proces., 8, E17, June 2019. <https://doi.org/10.1017/ATSIP.2019.10>.

2. T.T.B. Nguyen, Tan, T. Nguyen and H. Lee, "Efficient QC-LDPC Encoder for 5G New Radio," Electronics, 8, 668, June 2019. <https://doi.org/10.3390/electronics8060668>.

3. J. Boiko, I. Kovtun and S. Petrashchuk, "Productivity of telecommunication systems with modified signal-code constructions," 2017 IEEE 4th Inter. Scientific-Practical Conf. Problems of Infocom. Science and Technology (PIC S&T), Kharkov, 2017, pp. 173-178, <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246374>.

4. J. Boiko, I. Pyatin, O. Eromenko and M. Stepanov, "Method of the adaptive decoding of self-orthogonal codes in telecommunication," Indones. Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 19, no. 3, pp. 1287-1296, Sept. 2020, <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v19.i3.pp1287-1296>.

5. Y. Fang, G. Bi, Y. L. Guan and F. C. M. Lau, "A Survey on Protograph LDPC Codes and Their Applications," in IEEE Commun. Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 4, pp. 1989-2016, Fourthquarter 2015, <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2436705>.

6. J. Boiko, O. Eromenko, "Signal Processing in Telecommunications with Forward Correction of Errors," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol.11, no. 3, pp. 868-877, Sept. 2018 DOI: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v11.i3.pp868-877>.

7. Bojko Ju. M. Teoretichni aspekti pidvishhennja zavadostijkosti j effektivnosti obrobki signaliv v radiotekhnichnih pristrojah ta zasobah telekomunikacijnih sistem za najavnosti zavad: monografija / Ju. M. Bojko, V. A. Druzhinin, S. V. Toljupa. - Kiïv : Logos, 2018. – 227 s.

8. Bojko Ju. M. Doslidzhennja effektivnosti algoritmiv kanal'nogo koduvannja v zahishhenih telekomunikacijnih sistemah peredavannja informacii / Ju. M. Bojko, D. A. Makarishkin, O. I. Pasichnik // Zv'jazok: zagal'nogaluz. nauk.-virob. zhurn. – Kiïv, 2016. – № 5. – S. 56–67.

9. A. D. Liveris, Z. Xiong and C. N. Georgiades "Compression of binary sources with side information at the decoder using LDPC codes," IEEE communications letters, vol. 6, no. 10, pp. 440–442, 2002.

10. S. Myung, Y. Kyeongcheol, and K. Jaeyoel. "Quasi-cyclic LDPC codes for fast encoding." IEEE Transactions on Information Theory, vol. 51, no. 8, pp. 2894-2901, 2005.

11. D. E. Hocevar, "A reduced complexity decoder architecture via layered decoding of LDPC codes." IEEE Workshop on Signal Processing Systems, 2004. SIPS 2004. IEEE, 2004.

12. M. Yang, W. E. Ryan, Y. Li, "Design of efficiently encodable moderate-length high-rate irregular LDPC codes," IEEE Transactions on Communications, vol. 52, no. 4, pp. 564-571, 2004.

13. J. Boiko, I. Pyatin and O. Eromenko, "Farrow Interpolator Features in QPSK Telecommunication Devices." 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). IEEE, 2020. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235410.

Надійшла / Paper received: 11.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 02.06.2020

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПІЛОТНОГО АВІАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИ ФОТОЗАХОПЛЕННІ

Створили методику, виготовили, відлагодили і провели експериментальні дослідження безпілотного авіаційного комплексу з використанням безпілотного літального апарата – гексакоптера при фотозахопленні і знешкодженні об'єкта. Гексакоптер виготовили на рамі Tarrot 680 з автопілотом Pixhawk PX4 і бортовим комп'ютером Raspberry Pi з власними програмами керування. Стандартні налаштування автопілота змінювали для оптимальної взаємодії з бортовим комп'ютером. Досліджували впливи елементів гексакоптера: регуляторів моторів, компаса, акселерометра, GPS-приймача і барометра на надійність роботи системи. Корегування польотом гексакоптера проводили в ручному і напівавтоматичному режимах з використанням програми Mission Planner. Систему програмного керування польотами тестували на відстанях до 100 метрів і висотах до 4 м, при яких забезпечувався надійний сигнал між WiFi-роутером наземної станції та адаптером бортового комп'ютера, а також при швидкостях польотів не більше 5 м/с.

Ключові слова: система керування, безпілотний літальний апарат, гексакоптер, автопілот, бортовий комп'ютер, регулятор моторів, компас, акселерометр, відеокамера, барометр.

V. CHYHIN, P. MYHAILYSHYN

Peter Sagaidachny National Academy of Land Forces

EXPERIMENTAL RESEARCH OF UNMANNED AERIAL VEHICLE CONTROL SYSTEM AT PHOTOCAPTURING

In a number of papers of one of authors, the possibility of creating a comprehensive system for the neutralization of another unmanned aircraft is considered. At the first stage of UAV detection, sound devices are used. Then its coordinates, direction and speed are measuring with the help of a stationary video system. Then the flight of own UAV takes place to the extrapolated coordinates of the stranger one. When capturing a UAV, it is chased by a special program installed on the onboard computer. In the end, the another unmanned aircraft will be neutralized in a cheaper way, for example, using a grid thrower. Authors did not find in the available literature information about study of such method.

Therefore, in this work the experimental research of the unmanned aerial vehicle control system at photocapturing and destroying of the object was carried out. For this the hexacopter on the Tarrot 680 frame using autopilot PixHawk PX4 was made. PixHawk has an open code, making it possible to connect an additional board computer Raspberry Pi 3 with own control programs. The programs were written in Python in the Linux operating system. Standard libraries such as Dronekit, Mavproxy, and OpenCV were used. Standard autopilot settings have been changed for optimal interaction with the onboard computer. When software control is used, sensor data were converted to corresponding commands for the flight controller due to the Mavlink protocol. Various scenarios of the flight were made and tested.

Influences of the hexacopter elements (motors' regulators, video cameras, as well as sensors - compass, accelerometer, GPS receiver and barometer) on the reliability of the system were studied. Correction of hexacopter flight was carried out in manual and semi-automatic modes using the Mission Planner program. The program control system was tested at distances up to 100 meters and at heights up to 4 m. This provided a reliable signal between the WiFi router of the ground station and the onboard computer adapter. The speed of copper flights was not greater than 5 m/s. The results of the testing of the control system testify to the positive performance of its work at photocapturing and destroying of the object.

Keywords: control system, unmanned aerial vehicle, hexacopter, autopilot, trip computer, motor controllers, compass, accelerometer, video camera, barometer

Постановка проблеми. Досі автори проводили вимірювання параметрів польоту безпілотного літального апарату (БПЛА): координат, напрямку і швидкості руху, – за допомогою стаціонарної відеосистеми [1, 2]. У праці [3] описали можливість польоту власного БПЛА за екстрапольованими координатами іншого, а також його знешкодження дешевшим способом з використанням сіткомета. При цьому не розглядали питання керування польотом власного БПЛА при фотозахопленні БПЛА противника, зокрема, з використанням бортової відеокамери і бортового комп'ютера. Автори не виявили в наявній літературі інформації про дослідження такого типу. Тому у цій роботі опрацювали і виготовили експериментальний безпілотний авіаційний комплекс з використанням гексакоптера з рамою Tarrot 680 і автопілотом PixHawk PX4, для дослідження процесів фотозахоплення і знешкодження іншого БПЛА у польоті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В українських публікаціях описуються, в основному, БПЛА літакового типу. Так, у статті [4] автори проаналізували можливості та обмеження застосування тактичних безпілотних авіаційних комплексів, розглянуто основні тенденції їх удосконалення і оснащення ними Сухопутних військ України. Автори не розглядають питання використання безпілотних літальних апаратів типу мультикоптери.

У роботі [5], яка за суттю є найближчою до нашої, порівнюються сучасні контролери польоту Pixhawk та APM 2.6, показано можливості їх використання у різних режимах польоту мультикоптерів. Оглянуто основні сенсори (акселерометр, гіроскоп, барометр, магнітометр), на основі показників яких задається стабілізація польоту. Проте, автор не торкається проблем практичного відлагодження електронної апаратури і керування мультикоптерів.

На сайті виробника контролера польоту Pixhawk та його програмного забезпечення [6] та у відеоматеріалах [7] можна знайти окремі інструкції щодо відлагодження БПЛА і систем його керування,

описано деякі практичні кроки відлагодження систем стабілізації, керування та зв'язку. Виходячи з наведеного, для експериментальних досліджень системи керування безпілотним літальним апаратом при фотозахопленні, фотопереслідуванні і знешкодженні іншого БПЛА вважали за доцільним використати експериментальний безпілотний авіаційний комплекс на базі гексакоптера з рамою Tarror 680, автопілотом PixHawk PX4, бортовим комп'ютером (БК) Raspberry Pi і відеокамерою Raspberry Pi V2.

Мета роботи – дослідити систему керування макета безпілотного авіаційного комплексу на базі гексакоптера і наземної станції (пульта керування, ноутбука і бездротової системи зв'язку), на предмет надійності польотів. Відлагодити різні режими польотів і випробувати БПЛА при ручному, напівавтоматичному і програмному керуванні з фотозахопленням і знешкодженням повітряних об'єктів.

Виклад основного матеріалу ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ БПЛА

Програма Mission Planner. Для напівавтоматичного керування польотами, початкового і повторного налаштування параметрів регуляторів обертів моторів і сенсорів коптера використовували програму Mission Planner, встановлену на ноутбуці. Покрокова інструкція налаштування описана на сайті виробника автопілота [6].

Програма Mission Planner дає можливість керувати БПЛА, не вдаючись за допомогою до пульта керування. У вікні карти на моніторі ПК можна вказати на точку бажаного місця і вибрати «Fly To Here». Гексакоптер полетить у задану точку і зависне в очікуванні наступної команди. Це – режим польоту «Guided Mode». Наступними можуть бути команди переміщення в іншу точку, або перемикання в інший режим. В режимі Auto політ за маршрутом відновиться з тієї точки, де він був перерваний. Оператор може попередньо обрати на карті всі точки, які мають тактичне значення, створити певний маршрут пролітання, і вказати на об'єкти, на які коптер повинен повертати камеру під час проходження місії, висоту польоту, швидкість пролітання між точками і т.п.

Недоліком програми Mission Planner є неможливість створення траєкторії польоту з врахуванням фотозахоплення, створити сценарій фотопереслідування і виконання дії знешкодження.

Власні програми керування. Для створення системи програмного керування гексакоптером у комп'ютері Raspberry Pi інсталиювали робоче середовище Linux і власні програми керування при фотозахопленні і знешкодженні об'єкта, написані мовою Python. При цьому використали такі стандартні бібліотеки, як Dronekit, Mavproх, а також OpenCV [6].

Склали програму керування безпілотним літальним апаратом за алгоритмом (рис. 1).

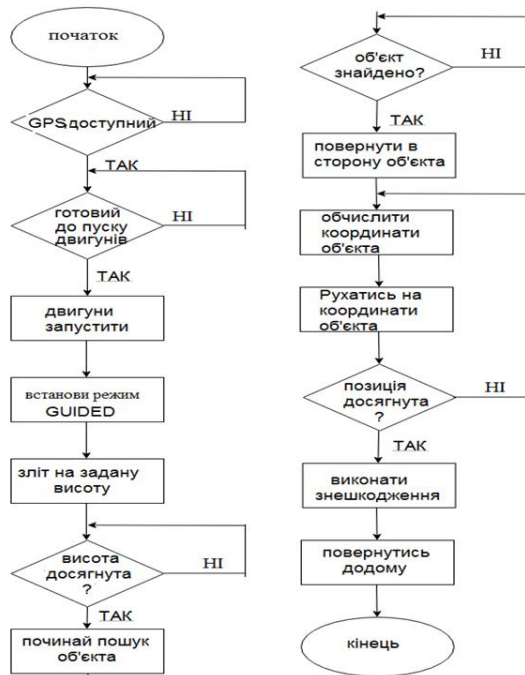


Рис. 1. Алгоритм для програми польоту з фотопереслідуванням

Він включає такі сценарії польоту, як підняття коптера на певну висоту, зависання на певний час, обертання навколо своєї осі, політ до об'єкта у випадку його фотозахоплення, виконання дії знешкодження при перевищенні розміру зображення об'єкта над заданим. Дані сенсорів перетворюються у відповідні команди для польотного контролера за допомогою протоколу Mavlink [6].

МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для експериментального дослідження БПЛА використовували виготовлений макет комплексу (рис. 2), який включає гексакоптер 6, контролер польоту Pixhawk 8, бортовий комп'ютер Raspberry Pi 7, GPS-модуль 1, шість моторів з регуляторами обертів 9 і три акумуляторні батареї 5. Для керування коптером

в різних режимах польотів використовували пульт керування 2, ноутбук 3 і WiFi роутер 4. При програмному керуванні використовували комп'ютер Raspberry Pi з власною програмою із певним сценарієм польоту, пульт керування 2, ноутбук 3 і WiFi роутер 4.

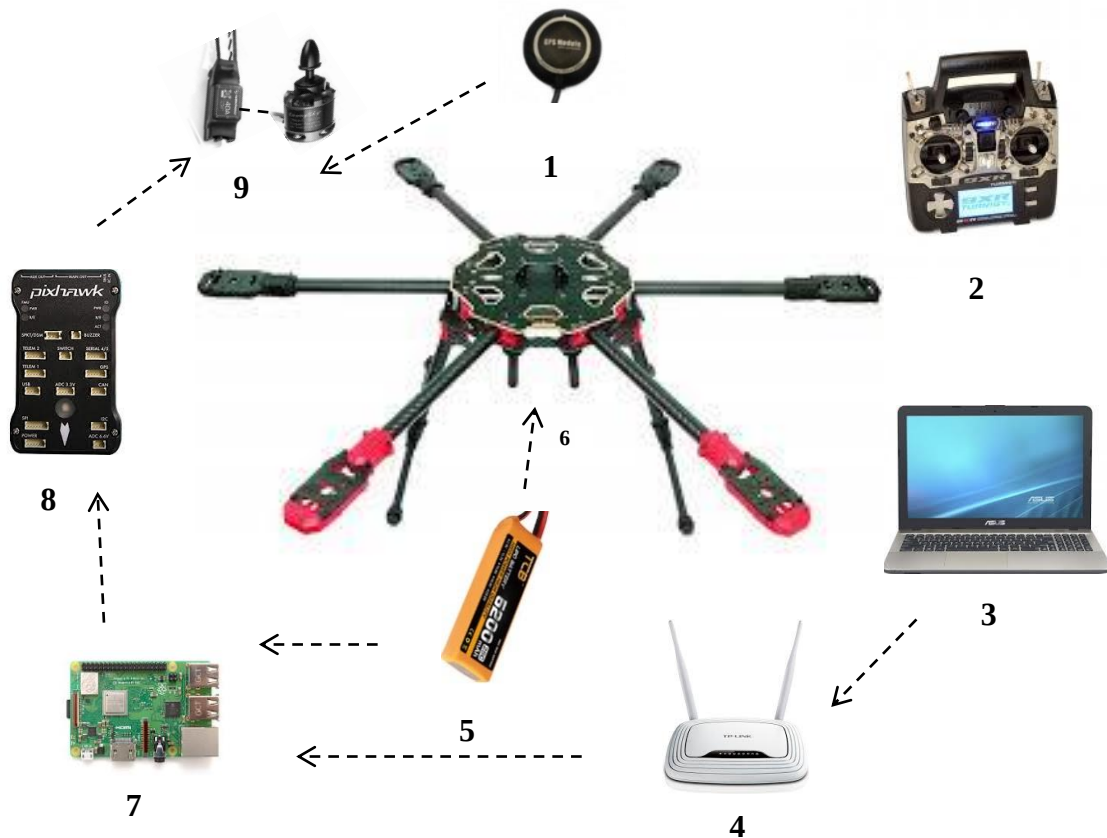


Рис. 2. Схема макета безпілотного авіаційного комплексу:

1 – GPS-модуль, 2 – пульт керування, 3 – ноутбук, 4 – WiFi роутер, 5 – акумуляторна батарея, 6 – рама гексакоптера, 7 – бортовий комп'ютер, 8 – автопілот, 9 – мотор і регулятор обертів

До пуску системи попередньо перевіряли налаштування усіх елементів. При цьому особливу увагу звертали на налаштування сенсорів гексакоптера. Перевіряли наявність сигналів від не менше шести супутників для надійного позиціонування на карті. Для цього використали програму Mission Planner, встановлену на ноутбуці. Сигнали супутників ненадійно проходять у сильно забудованій місцевості, у зв'язку з чим може відбутись падіння коптера.



Рис. 3. Фотографія пострілу сіткою

Зв'язок між ноутбуком і бортовим комп'ютером здійснювали за допомогою WiFi роутера. При цьому ставало можливим пускати і відлагоджувати програму керування з монітора ноутбука.

Пуск моторів і піднімання коптера попередньо виконували трьома способами – ручним (за допомогою пульта), напівавтоматичним (з використання програми Mission Planner) і програмним з використанням бортового комп'ютера. Систему керування польотом тестували на відстанях до 100 метрів і

висотах до 4 м, при яких забезпечувався надійний сигнал між WiFi-роутером наземної станції та адаптером бортового комп'ютера Raspberry Pi, а також швидкостях польотів не більше 5 м/с.

Для тестування процесів фотозахоплення і знешкодження використали складену програму керування за алгоритмом (рис. 1), а також повітряну кульку червоного кольору діаметром 0,5 м, яка знаходилась на жердині висотою 3 м і відстані від коптера порядку 15 м (рис. 3). У випадку фотозахоплення програма обчислювала дані про кульку (розмір у пікселях і віддаль у метрах), які висвітлювались у вікні програми на моніторі ноутбука. При цьому на зображенні кульки відображається коло іншого кольору, яке повторює її контур.

Як тільки розмір зображення кульки ставав більшим від заданого, програма запускала систему GPIO, яка подавала напругу живлення на електроспалахувач сіткомета. Відбувалося загоряння порошу та викидання сітки розміром 3×3 метра (рис. 3). Сітка накривала кульку, що імітувало накидання її на пропелери коптера противника і припинення його польоту. При багатократних експериментах виявили, що після падіння коптера навіть із незначної висоти, можуть виходити з ладу його окремі елементи. Появляється несинхронність роботи двигунів, «зависання» польотного контролера і збій його налаштувань.

Для відновлення роботи регуляторів двигунів та сенсорів гексакоптера входили у режим налаштування. Для цього використовували програму Mission Planner. Для налаштування регуляторів моторів за допомогою програми Mission Planner потрібно з'єднати Pixhawk з портом COM 3 за допомогою USB кабеля. Обрати у програмі потрібний номер COM порта і встановити з'єднання між програмою та автопілотом. У вкладці INITIAL SETUP та у групі налаштувань Mandatory Hardware обрати Calibration та натиснути кнопку Calibrate.

Барометр не дає точних показань малих висот (8-10 метрів), оскільки слабо реагує на різницю тиску в цьому випадку. Це ускладнює керування та майже унеможливорює політ за координатами в автоматичному режимі. Коптер слід посадити на землю вчасно до моменту розряду акумулятора.

Висновки. Макет безпілотного літального комплексу, створений на базі гексакоптера з рамою Taro 680 з використанням автопілота Pixhawk PX4 та бортового комп'ютера Raspberry Pi, дозволив провести експериментальні дослідження системи ручного, напіваавтоматичного та програмного керування при фотозахопленні та знешкодженні об'єкта. Для виконання напіваавтоматичного керування, а також налаштування окремих елементів коптера використали стандартну програму Mission Planner.

Програми керування, написані мовою Python в операційній системі Linux, дозволили виконати окремі сценарії польоту, зокрема, підняття коптера на певну висоту і зависання на певний час, а також політ до об'єкта з відомими GPS-координатами і виконання дії знешкодження за допомогою сіткостріла.

Систему протестували на відстанях гексакоптера від наземної станції до 100 метрів і висотах до 4 м, а також при швидкостях польотів до 5 м/с. Виявили суттєві впливи регуляторів моторів, компаса, акселерометра, GPS-приймача і барометра на надійність пуску і польоту гексакоптера. У випадку виходу його з ладу слід приділити особливу увагу повторному налаштуванню цих елементів.

Автори працюють над удосконаленням макета безпілотного літального комплексу, зокрема, над програмою об'єднання процесів фотозахоплення, фотопереслідування і знешкодження при більших швидкостях польоту та дальших відстанях.

Література

1. Федисин Н. Дослідження системи вимірювання координат об'єкта за допомогою фотосистеми, цифрового теодоліта і gps-приймача / Н. Федисин, Василь Чигін // Міжнар. конф. молодих вчених та аспірантів «ІЕФ-2017», м. Ужгород, 23–26 трав. – 2017. – С. 10–12.
2. Чигін В.І. Дослідження і модифікація системи та алгоритму виявлення і відстеження рухомих об'єктів у потоці відеоданих / В.І. Чигін, Н.Г. Федисин // Збірник тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ». – Львів : НАСВ, 2017. – С. 118.
3. Чигін В.І. Експериментальні дослідження ефективності захисних пристроїв проти безпілотних літальних апаратів / В.І. Чигін, С.М. Свідерок, Ю.В. Шабатура, А.Ю. Тарасенко // Збірник тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ». – Львів : НАСВ, 2017. – С. 117.
4. Сальник Ю.П. Тактичні безпілотні авіаційні комплекси: можливості та обмеження у застосуванні / Ю.П. Сальник, І.В. Матала, В.А. Онищенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 1(18). – С. 23–28.
5. Мясіщев О.А. Режими польоту контролерів польоту APT2.6 і Pixhawk БПЛА / О. А. Мясіщев, В.В. Швець // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1 (257). – С. 78–82.
6. ArduPilot [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ardupilot.org/ardupilot/>
7. RC School models [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://plus.google.com/u/0/+RCSchoolmodels>

References

1. Fedysyn Nazar, Chyhin Vasyl. Investigation of the system of measuring the coordinates of an object using a photo system, digital theodolite and gps-receiver. International conf. Young Scientists and Postgraduates "IEF-2017". Institute of Electronic Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Uzhhorod, May 23–26. 2017. P. 10–12.

-
2. Chyhin V.I., Fedyshyn N.G. Research and modification of the system and algorithm for detecting and tracking moving objects in a video stream. Collection of Abstracts of International reports. Sci.-Tech. conf. "Prospects for the Development of Arms and Military Equipment of the Land Forces". – Lviv: NALF, 2017. p.118
 3. Chyhin V.I., Sviderok S.M., Shabatura Yu.V., Tarasenko A.Yu. Experimental studies of the effectiveness of protective devices against unmanned aerial vehicles. Collection of Abstracts of International reports. Sci.-Tech. conf. "Prospects for the Development of Arms and Military Equipment of the Land Forces". – Lviv: NALF, 2017. p. 117
 4. Yu.P. Salnik, I.V. Matala, V.A. Onishchenko. Tactical Unmanned Aerial Systems: Opportunities and Limitations in Use. Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, 2015, No. 1 (18). Pp. 23–28.
 5. Myasishchev O.A. Flight controlling flight modes APT 2.6 and Pixhawk UAV / O.A. Mjasishchev, V.V. Shvov // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. - 2018 - No. 1 (257). - P. 78–82.
 6. ArduPilot. URL: <http://ardupilot.org/ardupilot/>
 7. RC School models. URL: <https://plus.google.com/u/0/+RCSchoolmodels>

Надійшла / Paper received: 17.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ (161, 181, 182)

УДК 685.34

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-30

А. І. БАБИЧ, О. В. АКАШЕВ

Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБКА АСОРТИМЕНТУ ВЗУТТЯ ДЛЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ НА ОСНОВІ МАРКЕТИНГОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДУМОК УКРАЇНСЬКИХ БІЙЦІВ АТО

У статті розглянуто стан ринку вітчизняного взуття для військовослужбовців і потреб ЗСУ, наведено результати маркетингових досліджень споживчих переваг носіїв взуття даного сегменту, а саме бійців АТО, розроблено асортимент тактичного взуття з сучасних матеріалів, виготовлено дослідні зразки, а також з'ясовано, наскільки його асортимент задовольняє потреби бійців. Прогнозовано можливість використання не типових сучасних матеріалів для виробництва взуття, що включає оцінку споживачів щодо актуальності його використання під час виробництва взуття. Метою роботи є дослідження сегменту вітчизняного і світового випуску взуття для військовослужбовців, вивчення потреб носіїв-споживачів, удосконалення конструкції та технології виготовлення взуття даної групи, зокрема взуття для військовослужбовців та оцінка якості матеріалів та виготовлених виробів за окремими показниками. Вивчені, визначені і узагальнені найважливіші фактори потреб носіїв-споживачів взуття для військовослужбовців під час проведення on-line і польових маркетингових досліджень. Досліджено питання удосконалення конструкції і технології виробів даного сегменту та процес поетапного виготовлення взуття в цілому. Розроблено конструкцію і технологію виготовлення взуття літнього асортименту для військовослужбовців. Підтверджено експериментальним шляхом забезпечення високої якості виробів і попит на розроблену в роботі модель взуття. Системний підхід вивчення питання дав змогу розібратися у питаннях проблеми і віднайти шляхи їх вирішення щодо формування або розширення асортименту і закупівлі матеріалів та комплектуючих, придатних для виробництва виробів даної сегментної групи з урахуванням аналізу факторів потреб військовослужбовців, вдосконалення конструкції та технології виробництва взуття, поліпшення його якості, зниження собівартості і збільшення попиту на взуття українських споживачів.

Ключові слова: взуття для військовослужбовців, сучасні матеріали та технології, сегментація, ринок, маркетингові дослідження, вибір респондентів, попит, удосконалення, якість.

A. BABYCH, O. AKASHEV

National University of Technology and Design

DEVELOPMENT OF THE RANGE OF SHOES FOR MILITARY SERVANTS

The article considers the state of the domestic footwear market for servicemen and the needs of anti-terrorist operation fighters in real conditions, presents the results of marketing research of consumer preferences of footwear wearers of this segment, develops a range of tactical footwear from modern materials, makes prototypes. needs of fighters. The possibility of using non-typical modern materials for the production of footwear is forecasted, which includes the assessment of consumers on the relevance of its use in the production of footwear. The purpose of this work is to study the segment of domestic and world production of footwear for servicemen, study the needs of consumer media, improve the design and manufacturing technology of footwear of this group, including footwear for servicemen and assess the quality of materials and manufactured products. Scientific novelty. The most important factors of needs of footwear-consumers of footwear for servicemen during on-line and field marketing researches are studied, defined and generalized. The issues of improving the design and technology of products in this segment and the process of phased production of footwear in general have been studied. The design and step-by-step technological process of making summer shoes for servicemen have been developed. Confirmed experimentally by ensuring high quality products and demand for the model of footwear developed in the work. Practical meaning. A systematic approach to studying the issue allowed to understand the acute issues of the problem and find ways to solve them to form or expand the range and purchase of materials and components suitable for the production of products of this segment group, taking into account the needs of servicemen, improving the design and technology of footwear. , reducing the cost and increasing demand for shoes of Ukrainian consumers.

Keywords: footwear for servicemen, modern materials and technologies, segmentation, market, marketing research, choice of respondents, demand, improvement, quality.

Вступ. Удосконалення асортименту взуття для військовослужбовців і його виробництво в умовах сьогодення є актуальним питанням кожної країни, яка переймається своїм суверенітетом, охороняє кордони країни і населення та опікується питаннями оснащення військовослужбовців зручним і комфортним обмундируванням. Ці дії призводять до наукового пошуку методів та засобів удосконалення конструкції виробів, технологічних параметрів під час виробництва взуття, використання сучасних матеріалів і комплектуючих, що в свою чергу призводить до зниження собівартості виробів, зменшення їх ваги, підвищення якості, зносостійкості і задоволення потреб споживачів у якісних товарах [1–16].

Дані дослідження дають можливість виявити та систематизувати споживчі властивості взуття для військовослужбовців, класифікувати взуття і згодом впровадити у виробництво оновлені, сучасні і якісні моделі взуття даного сегменту.

Аналіз вітчизняного ринку взуття і світовий досвід доводять той факт, що в країнах із розвинутою економікою внутрішній попит повинен бути зорієнтований на товари вітчизняних, а не закордонних виробників. Це стосується і взуттєвої галузі, для підприємств якої ріст попиту на вітчизняне взуття є суттєвим важелем забезпечення їх ефективного функціонування. Однак необхідно зазначити, що значна

кількість матеріалів і комплектуючих для виробництва взуття, а також хімікатів, які використовуються для опорядження виробів і обробки сировини є імпортованими. Тому рівень і розподіл локалізації продукції не високий [3, 7, 11–14].

Найбільшими країнами-імпортерами сировини для виробництва взуття є Італія, Польща, Туреччина, Індія, Китай, Бразилія, Португалія, Німеччина, Аргентина (постачальники шкіри та комплектуючих). За статистичними даними 10 % складових взуття є українськими (наприклад, цвяхи і геленки – місцеві), решта складових – імпорт [3]. Окрім цього, українські виробники практично не виготовляють професійного та спеціального взуття з сучасних матеріалів, не говорячи вже про впровадження суперсучасних інноваційних технологій виготовлення виробів. Виключенням є ТОВ «Талан», м. Ромни, яке є передовим і технічно надсучасним підприємством з виготовлення спеціального і захисного (військового і професійного робітничого) взуття в Україні. Це підприємство має європейський досвід роботи, сучасне обладнання, філії у різних містах України та потужні виробничі площі за кордоном. Також на випуску продукції даного сегменту спеціалізується в Україні ТОВ «Зенкіс», м. Київ, «РИФ-1», м. Житомир та ін. На жаль, обсяги виробництва взуття і аксесуарів в Україні катастрофічно знижуються; це констатує Держстат і самі виробники [11–14].

Військові події на Сході спричинили чергову кризу в Україні, однак навіть за таких обставин промисловість функціонувала і виробляла продукцію військового призначення для АТО і ЗСУ. Виробники намагалися зберегти робочі місця, контакти з постачальниками і залишатися «на плаву» навіть за таких обставин. Однак, наступний нищівний удар по українцях в цілому і виробничникам зокрема, що не залишився не поміченим, стався зовсім нещодавно – це COVID-19. За час карантину 2020 року було практично знищено промисловість. Багато підприємств стали банкрутами і закрились, деякі були вимушені закритись тимчасово. Робочі місця скорочено. Росте армія безробітних фахівців галузі, яким у центрах зайнятості пропонують роботу охоронця, прибиральниці тощо.

Згідно зі статистичним аналізом Держстату підсумків роботи галузі 2019 р., падіння обсягів випуску виробів промисловості в Україні склало 10,7 %, у легкій промисловості падіння обсягів випуску продукції не значне порівняно з загальною цифрою і складає 2,7 % відносно рівня попереднього року. Зрозуміло, що така тенденція стосується й ринку взуття і аксесуарів у повній мірі.

Аналітики і статисти показали падіння й обсяги імпорту, продемонструвавши показник у 52,3 % в порівнянні з 2019 роком (цей показник включає як готове взуття, так і його комплектуючі) [11–14].

За перші два місяці поточного 2020 р. обсяги імпорту продовжили зниження: було завезено 3,4 млн пар взуття, що становить лише 72,6 % порівняно з показниками за перші два місяці 2019 року. Головна причина такого зниження – карантинні дії, закриття підприємств, закриті кордони, загальна несприятлива економічна ситуація в Україні і світі, безробіття, що призвело до різкого падіння купівельної спроможності населення. Паралельно відбувалося відкриття інтернет-магазинів і тотальне скорочення та закриття торгових площ, що спеціалізуються на взутті.

Виконавчий директор Всеукраїнського об'єднання роботодавців легкої промисловості «Укрлегпром» Т. Ізовіт в своїх виступах наводить дані і підтверджує, що на ринку спостерігається тенденція до локалізації продукції – все більше українців починають віддавати перевагу вітчизняним товарам і з суто економічних та патріотичних міркувань, адже вироблене в Україні взуття зазвичай коштує дешевше, ніж імпортне [7].

«Легка промисловість – є однією із стратегічних галузей економіки будь-якої країни. В Україні є географічний потенціал, який є бонусом для розвитку сегменту і випуску даної продукції швидкими темпами. Завдання уряду станом на зараз є не просто відпрацьовувати дерегуляцію, а й створювати умови для бізнесу.

Постановка завдання. Стрімко змінився сучасний світ і відповідно змінились вимоги до виробів і виробників продукції. Сучасна професійна армія – не тільки щоденне досягнення і порівняння особистих досягнень бійців і їх фізичних навичок, а й розвиток високих технологій щодо винайдення сучасних надлегких і міцних матеріалів, що не промокають і дозволяють бути не поміченим при маскуванні на місцевості. Однак, у цивілізованому сучасному світі більшість людей покладається на розробки провідних брендів чи конкретних закордонних виробників не знаючи, що і в Україні виробляється достойна продукція європейського рівня якості. Це стосується і сегменту взуття для військовослужбовців.

Українські вчені внесли значний внесок у розвиток галузі, в розробку конструкцій і технологій виготовлення взуття та матеріалів, запропонували нові принципи класифікації, досліджували різні варіанти удосконалень в уже існуючих конструкціях, технологіях, матеріалах та обладнанні.

Корифеями взуттєвої справи і засновниками наукових шкіл і напрямів наукової діяльності різних років є проф. Коновал В.П., проф. Нестеров В.П., проф. Зибін Ю.П., проф. Тонковид Л.А., проф. Половніков І.І., проф. Омельченко Н.М., проф. Олійникова В.В., проф. Горбачик В.Є., проф. Свістунова Л.Т., Бегняк В.І., Ключнікова В.М., проф. Гаркавенко С.С. та ін. Ці науковці внесли значний вклад у розвиток науки і техніки щодо новачків у конструюванні та вдосконаленні технологій виробництва виробів зі шкіри, розробки програмного забезпечення та ліній автоматизованого складання виробів [1, 2, 4, 5, 8, 16].

Багато наукових шкіл і науковців, як наприклад Войчак А.В., Мальченко В.М., займалися за час своєї роботи розробкою стандартів, нормативних баз, термінів, які є необхідними для початківців у вивченні певних питань [10, 6, 4]. Інші науковці, як наприклад Гриневич Т.М., Стоянов І.С., займалися аналізом результатів випробування взуття з метою сертифікації. Досліджували і прогнозували міцність ниткових швів при скріпленні деталей верху взуття. Складали алгоритми прогнозування відповідності ниткового скріплення деталей верху взуття. Проводили експериментальні дослідження процесів виробництва взуття загалом [4, 6].

Багато сучасних наукових досліджень відтворено у патентах науковців Злотенко Б.М., Гаркавенко С.С., Борщевської Н.М., Бабич А.І., Кернеш В.П., Обрізана В.М., Первої Н.В., Охмат О.А., Мокроусової О.Р., Плаван В.П., які розглядали такі питання: дослідження впливу поверхнево-активних речовин різної природи на властивості покриття; дослідження з розробки взуття-трансформера; дослідження з розробки устілок; дослідження з розробки композицій для фарбування шкіри; дослідження з розробки складу і рецептури наповнення шкіри; дослідження з розробки способу дублення шкіри для верху взуття; розробка способу виконання декору зі шкіри; розробка способу обробки шкіри; розроблена вакуумна зона установки для термофіксації заготовок взуття; розроблено спосіб зволоження капілярно-пористих матеріалів; розроблено спосіб визначення ємності електролітичного розчину та багато інших наукових надбань і розробок [9]. Отже, підсумовуючи сказане, можна зазначити, що в повсякденному житті людина може виготовити собі вироби вдома, але професійне взуття – ні, і на це є багато причин. Це і доступність до закупівлі сучасних матеріалів, і доступність до сучасних технологій, обладнання, комплектуючих тощо.

В умовах сьогодення використання нових надсучасних матеріалів і методів виробництва взуття вивело військову екіпіровку на абсолютно новий європейський рівень.

Цілком зрозуміло, що сучасні військові не купують чоботи, тактичні черевики і кросівки в бутику біля свого будинку. Найвідоміші компанії-виробники військового екіпірування, такі як ТОВ «ТАЛАН», працюють над створенням досконалого у цій області взуття, покращують форму колодки і конструкції взуття, експлуатаційні характеристики кожної нової моделі, перевищуючи показники зручності і функціональності попередніх розробок на кілька відсотків. При цьому в розробках беруть участь вчені і винахідники різних країн, військові, практики, інженери і дизайнери, комп'ютерники і хіміки, фізики та товаровознавці.

Основна частина. Нині багато споживачів купують спеціальне взуття, яке є у вільному продажу, для особистих потреб (риболовля, полювання), оскільки воно більш практичне і міцне, добре фіксує і захищає ноги носія, не промокає довгий час та володіє ще багатьма характеристиками, а це значить, що основним і найвагомішим чинником, що впливає на формування асортименту, є вподобання людей.

В даному конкретному випадку, коли мова йде про розробку взуття для військовослужбовців, перш за все, беруть до уваги вимоги стандартів [6] щодо матеріалів та інших стандартизованих вимог, а вже потім враховують думки споживачів-військовослужбовців, які безпосередньо є носіями даного взуття. Перед проведенням експериментальних досліджень були ретельно вивчені вимоги європейських стандартів якості і відповідності взуття та в цілому армійського спорядження, а також вимоги до основних матеріалів.

Стандарти НАТО для військової форми та спорядження військовослужбовців ЗС України налічують ряд нормативно-технічних документів та змін до них, розміщених на офіційному сайті Міністерства оборони України, а саме деякі з них є такими [14]:

– EN ISO 20345:2004/AC:2007/A1:2007, IDT Засоби індивідуального захисту. Взуття професійної призначеності. Технічні умови;

– DSTU EN ISO 20344:2016 (EN ISO 20344:2011, IDT; ISO 20344:2011, IDT) Засоби індивідуального захисту. Взуття професійної призначеності. Методи випробування взуття;

– ТУ У 15.2-00034022-175:2017. Черевики літні з високими берцями Тип В (затверджено і введено в дію 02.02.2017 р.; документ чинний до 02.02.2022 р.);

– ТО А01ХJ.45279-043:2019. Черевики літні. Технічний опис на дослідну партію (затверджено і введено в дію 28.12.2019 р).

Основні матеріали для виробництва військового взуття, рекомендовані стандартами: поліуретан (ПУ), філон, філайт, ТЕП, кордура, натуральна шкіра (НШ), гортекс (мембранна тканина), кевлар, синтетична шкіра, сіткові матеріали, металева фурнітура з антикорозійним ефектом тощо. Від того, з яких матеріалів виготовлене взуття для військовослужбовців залежить його якість, призначення, властивості і вартість.

Провівши передпроектні теоретико-аналітичні дослідження, методом анкетування було досліджено і проаналізовано думки споживачів для подальшої розробки модельного ряду взуття.

Метод анкетування – це один з найпростіших способів опитування, який передбачає безпосереднє і контактне спілкування з респондентом, що не потребує вагомих матеріальних витрат дослідника.

Оскільки в даному науковому дослідженні мова йде про взуття для військовослужбовців, опитування респондентів було проведено серед вояків спільноти АТО у м. Київ за допомогою анкетування.

Для розробки анкети необхідно було спочатку визначити номенклатуру споживчих властивостей носіїв. Також необхідно було врахувати і показники якості взуття, яке має відповідати наступним вимогам:

- враховувати призначення та умови експлуатації даної групи взуття;
- відображати сучасні новинки галузі, новачки у матеріалах і технологічних рішеннях;
- сприяти аналізу вимог споживачів з метою підвищення якості взуття для ефективності його експлуатації.

Правильно і повно розроблена структура споживчих вимог і властивостей взуття слугує основою для швидкого і якісного формування номенклатури споживчих показників якості продукції. Також для проведення соціологічного дослідження необхідно знати, що вибірка опитаних респондентів представляє собою сукупність отриманих відповідей і думок усіх респондентів, які взяли участь у дослідженні [5]. Необхідно зазначити, що будь-яка вибірка має дві оціночні характеристики – кількісну та якісну.

Якісна характеристика відображає змінні, що характеризують самих респондентів, а саме: вік, стать, професію, вподобання тощо. Для того, щоб висновки, отримані за результатами вибірки, можна було

вважати достовірними, вибірка повинна включати в себе найрізноманітніших представників досліджуваного суспільства [11].

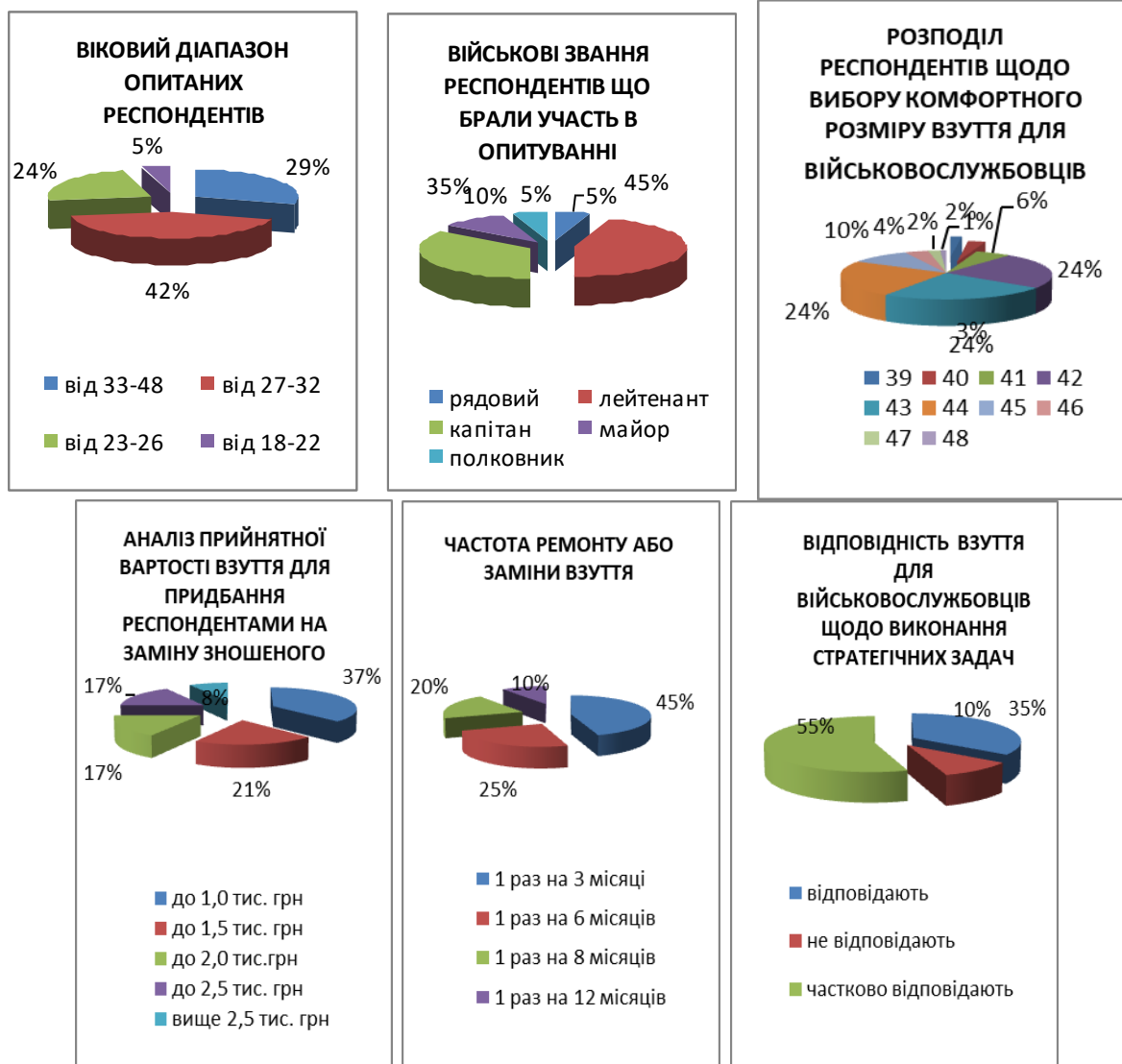
Кількісна характеристика вибірки – її обсяг, кількість людей, які взяли практичну участь у дослідженні. Кількість респондентів мінімально достатніх для проведення досліджень розраховується як:

$$n \geq \frac{\delta^2 z_{\alpha/2}^2}{d^2}, \quad (1)$$

де δ^2 – дисперсія сукупності; $z_{\alpha/2}$ – точка стандартного нормального розподілу; d – довірчий інтервал.

Необхідно, щоб з імовірністю 0,95 оцінка середнього знаходилась в інтервалі $\mu = \pm 0,02$. Відомо, що розмах вихідної величини складає 0,3, тоді $\delta = 0,3/3 = 0,1$. Виходячи з отриманих даних, розраховано оптимально необхідну кількість респондентів, яка склала 96 осіб. Однак опитано було 384 людини.

Результати анкетування математично опрацьовано і представлено на діаграмах відповідно до критеріїв вагомості (рис. 2).



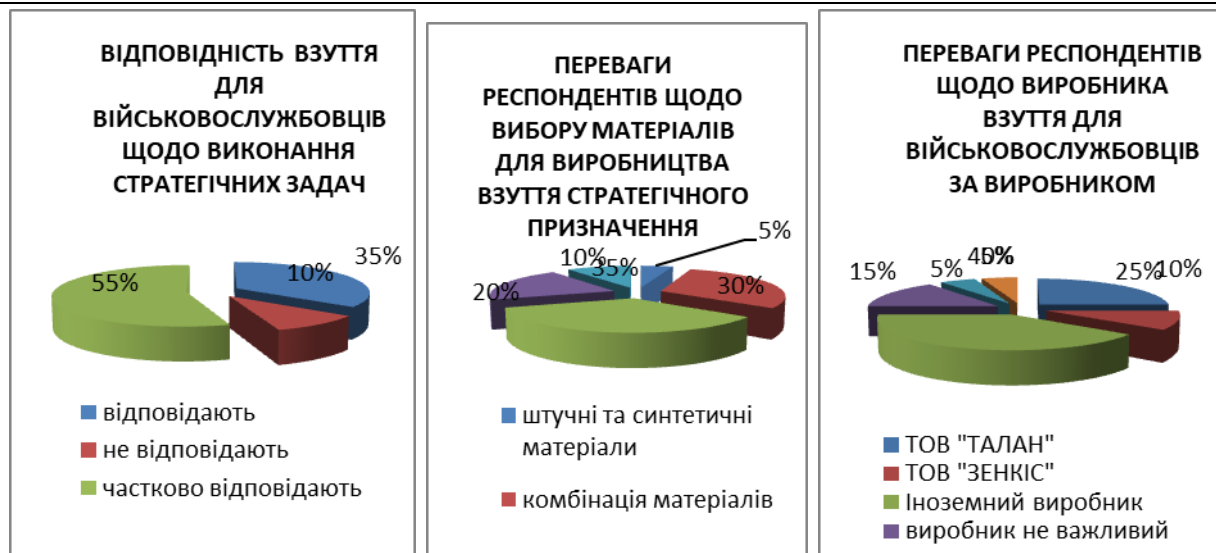


Рис. 2. Оцінка факторів споживчого вибору взуття для військовослужбовців на думку респондентів

В ході розробки анкети питання були складені таким чином, щоб усім опитуваним з різною розумовою активністю спектр питань був зрозумілим. Послідовність розташування питань обрана наступним чином: важкі для сприйняття питання знаходилися в середині, а більш легкі – в кінці і на початку анкети.

Анкета розроблялась на основі критеріїв вагомості щодо взуття для військовослужбовців різних вікових і військових категорій, що є носіями взуття даного виду і призначення.

Для зручності та оперативності використовувалась анкета, створена у сервісі Google, яка була надіслана бійцям АТО, що зареєстровані у військовій спільноті бійців АТО Києва і є зараз чи були під час служби носіями даного взуття, через електронну пошту чи акаунти у соцмережах. Також додатково анкетування-опитування проводились наживо співавтором дослідження, під час спілкування з однополчанами.

Для проведення анкетування спочатку було виконано математичні розрахунки ймовірності вибірки для проведення достовірних і якісних досліджень. Результати розрахунків наступні: кількість респондентів – 384; вік респондентів – 18–48 р.; місце проживання респондентів – м. Київ; стать – чоловіча; генеральна сукупність вибірки – 632000 чол.; ймовірність вибірки (P): 0,96.

Глибокий аналіз цих питань дав змогу розробити модельний ряд взуття (рис. 2), виконати креслення, виготовити зразки взуття і перевірити їх в лабораторних умовах на відповідність стандартам [16, 2, 8, 15].



Рис. 2. Асортиментний ряд розробленого взуття для військовослужбовців

Висновки. Питання виробництва взуття професійного призначення в Україні, зокрема армійського, як більш дешевого аналогу світових виробників, але високої якості є актуальним. Тому в основу дослідження було покладено розв'язання поставленої задачі, а саме розробка удосконаленої або оновленої конструкції (застосування комбінації сучасних дешевих і легких матеріалів, осучаснення крою, зниження ваги виробу тощо), удосконалення технологічних підходів до класичної технології виробництва (технологічного маршруту), виробництво дослідних зразків розробленої моделі, оцінка якості матеріалів та виробів за показниками відповідності стандартам з метою підтвердження якості і відповідності розробленого взуття до вимог стандартів і як результат впровадження розробки на профільному вітчизняному підприємстві.

Роботи проводились за підтримки осередку бійців АТО, м. Київ, і ТОВ «РИФ-1», м. Київ.

Під час розробки удосконаленої моделі взуття для військовослужбовців було використано думки та рекомендації кадрових військових, військових добровольчих загонів АТО та власний досвід співавтора роботи, оскільки Акашев Олександр також є учасником бойових дій АТО на сході України 2016–2018 років, а зараз є лейтенантом запасу.

За результатами соціологічного дослідження і аналізу літературних і технічних джерел та нормативно-технічних документів (стандартів ISO, ТУ і ТО) зазначених раніше, було обрано модель тактичних кросівок

для літнього періоду носіння як основну, що відповідає потребам опитаних респондентів за критеріями вагомості і виготовлена шляхом комбінації матеріалів заготовки литтєвим методом кріплення низу. Під час запуску у виробництво, її собівартість не розраховувалась.

Отже, розробка модельного ряду взуття для військовослужбовців потребує визначення комерційної чіткої стратегії і можливостей підприємства на ринку взуття, щорічного тотального моніторингу новинок і потреб ринку, вимог споживачів, реклаमाцій споживачів, реального бачення можливостей і ресурсів підприємства станом на зараз і на майбутнє. Такий підхід дав змогу зацікавити цільову аудиторію, адже кожен чоловік чи жінка військовослужбовець ЗС України обирає для себе ту пару взуття, яка найбільше відповідає вимогам щодо призначення виробу, зможе підкреслити їх індивідуальність і задовольнити стандартні вимоги.

Впровадження новацій і сміливих рішень на виробництві – це крок в майбутнє промисловості.

Література

1. Андрєєва О.А. Особливості шкіряно-хутрової сировини : монографія / Андрєєва О.А., Грищенко І.М., Зварич І.Т. – К. : Світ успіху, 2018. – 451 с.
2. Бегняк В.І. Основи конструювання і проектування виробів із шкіри : навч. посіб. / Бегняк В.І. – Хмельницький : ТУП, 2002. – С. 28–35.
3. Бородиня О. Щодо взуттєвого ринку України / О. Бородиня // Легка промисловість. – 2018. – № 3. – С. 21–22.
4. Взуття. Номенклатура показників якості : ДСТУ 3485-96. – [Чинний від 1998-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1998. – 16 с. – (Національний стандарт України).
5. Гаркавенко С.С. Маркетинг : підручник / Гаркавенко С.С. – Київ : Лібра, 2002. – 705 с.
6. ДСТУ EN ISO 20344:2016. Засоби індивідуального захисту. Методи випробування взуття (EN ISO 20344:2011, IDT; ISO 20344:2011, IDT). – Київ. Дата початку дії 01.10.2017.
7. Ізовіт Т. Тенденції розвитку українського ринку виробництва шкіри / Т. Ізовіт, І. Науменко // Легка промисловість. – 2019. – № 4. – С. 2.
8. Коновал В. П. Технологія взуттєвого виробництва : [підручник] / Коновал В. П., Свістунова Л. Т., Олійникова В. В. – К. : Либідь, 2003. – 366 с.
9. Наукова та інноваційна діяльність в Україні (за 2018 р.) [Електронний ресурс] : статистичний збірник. – 2012. – Режим доступу : http://ukrstat.org/uk/druk/katalog/kat_u/2012/09_2012/zb_nay_2011.zip
10. Нижник В.М. Проблеми виходу інноваційних технологій підприємств легкої промисловості на зовнішній ринок / В.М. Нижник, І.В. Пасічник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 2. – Т. 3. – С. 199–203.
11. Офіційний сайт Державної служби статистики України : статистична інформація [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua>.
12. Офіційний сайт Державної фіскальної служби України / Митна статистика [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.ukrstat.gov.ua/http://sfs.gov.ua/ms/.
13. Офіційний сайт державного комітету статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>
14. Офіційний сайт Міністерства оборони України / Міністерство оборони України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.mil.gov.ua/>
15. Стопа и рациональная обувь [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.medical-enc.ru/stopa/rol-kabluka-v-konstrukcii-obuvi.shtml>
16. Михайловська О.А. Визначення факторів впливу конструкцій взуття на стопу людини / О.А. Михайловська, А.В. Мостовік // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 5. – С. 125–128.

References

1. Andreieva O.A. Osoblyvosti shkiriano-khutrovoi syrovyny : monohrafiia / Andreieva O.A., Hryshchenko I.M., Zvarych I.T. – K. : Svit uspikhu, 2018. – 451 s.
2. Behniak V.I. Osnovy konstruiuvannia i proektuvannia vyrobiv iz shkiry : navchalnyi posibnyk / Behniak V.I. – Khmelnytskyi : TUP, 2002. – S. 28–35.
3. Borodynia O. Shchodo vzuttievroho rynku Ukrainy / O. Borodynia // Lehka promyslovist. – 2018. – № 3. – S. 21-22.
4. Vzuttia. Nomenklatura pokaznykiv yakosti : DSTU 3485-96. – [Chynnyi vid 1998-01-01]. – K. : Derzhstandart Ukrainy, 1998. – 16 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
5. Harkavenko S.S. Marketynh : pidruchnyk / Harkavenko S.S. – Kyiv : Libra, 2002. – 705 s.
6. DSTU EN ISO 20344:2016. Zasoby indyvidualnoho zakhystu. Metody vyprobuuvannia vzuttia (EN ISO 20344:2011, IDT; ISO 20344:2011, IDT). – Kyiv. Data pochatku dii 01.10.2017.
7. Izovit T. Tendentsii rozvytku ukrainskoho rynku vyrobnytstva shkiry / T. Izovit, I. Naumenko // Lehka promyslovist. – 2019. – № 4. – S. 2.
8. Konoval V. P. Tekhnolohiia vzuttievroho vyrobnytstva : [pidruchnyk] / Konoval V. P., Svistunova L. T., Oliinykova V. V. – K. : Lybid, 2003. – 366 s.
9. Naukova ta innovatsiina diialnist v Ukraini (za 2018 r.) [Elektronnyi resurs] : statystychnyi zbiryk. – 2012. – Rezhym dostupu : http://ukrstat.org/uk/druk/katalog/kat_u/2012/09_2012/zb_nay_2011.zip
10. Nyzhnyk V.M. Problemy vykhodu innovatsiinykh tekhnolohii pidpriemstv lehkoï promyslovosti na zovnishnii rynek / V.M. Nyzhnyk, I.V. Pasichnyk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2012. – № 2. – T. 3. – S. 199–203.

-
11. Ofitsiyni sait Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy : statystychna informatsiia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.ukrstat.gov.ua>.
 12. Ofitsiyni sait Derzhavnoi fiskalnoi sluzhby Ukrainy / Mytna statystyka [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : www.ukrstat.gov.ua<http://sfs.gov.ua/ms/>.
 13. Ofitsiyni sait derzhavnoho komitetu statystyky Ukrainy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.ukrstat.gov.ua>
 14. Ofitsiyni sait Ministerstva oborony Ukrainy / Ministerstvo oborony Ukrainy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.mil.gov.ua/>
 15. Stopa i racionalnaya obuv [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.medical-enc.ru/stopa/rol-kabluka-v-konstrukcii-obuvi.shtml>
 16. Mykhailovska O.A. Vyznachennia faktoriv vplyvu konstruktsii vzuttia na stopu liudyny / O.A. Mykhailovska, A.V. Mostoviuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2012. – № 5. – S. 125–128.

Надійшла / Paper received: 11.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 02.06.2020

УДК 685.34

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-31

А. І. БАБИЧ, Н. М. БОРЩЕВСЬКА, Л. О. ФЕДОРЕНКО, А. О. БАБИЧ

Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБКА КОЛЕКЦІЇ ЖІНОЧОГО ВЗУТТЯ В ЕКОСТИЛІ З ВЖИВАНИХ РЕЧЕЙ

У статті досліджено і проаналізовано питання апсайклінгу як явища світового масштабу і питання створення колекції жіночого взуття в екостилі з вживаних матеріалів та виробів. Досліджено питання можливості використання вживаних речей у створенні сучасних колекцій взуття. Досліджено і проаналізовано питання екодизайну у виробі індустрії моди. Проведено аналіз українських екобрендів виробників виробів з вживаних речей індустрії моди. Теоретично доведено доцільність даної розробки. Розроблено ескізний асортиментний ряд виробів в екостилі. Розроблено конструкторсько-технологічну документацію на виріб. Виготовлено промисловий зразок взуття.

Ключові слова: взуття, форма, мода, бренд, екодизайн, апсайклінг, попит, якість, екологічність.

A. BABYCH, N. BORSCHESKA, L. FEDORENKO, A. BABYCH

Kyiv National University of Technology and Design

DEVELOPMENT OF COLLECTION OF WOMEN'S SHOES IN ECO - STYLE FROM USED THINGS

Actuality of theme. Eco-design in the production of footwear from used materials and things is a topical issue today, as the most important trend of today is environmental friendliness. The conscious attitude of people to the environment and to the future of the planet Earth, finally spread to the products of the fashion industry. Eco-products are products that do not harm the environment, do not pollute it, but meet the needs of consumers, are fashionable, ergonomic, high quality, modern. The aim of the study. The purpose of the work and its creative source is to study the issues of upswing on a global scale and as a result of creating a collection of women's shoes in eco-style from the materials of used products while preserving the interesting elements of the cut of these products. Elements of scientific novelty. Are to identify and highlight the problem of preserving the planet by giving used materials and things a second life, by making them new and modern designer products in eco-style. The practical significance of the results of work. Research of the process of production of eco products in general. The question of the possibility of using second-hand things in the creation of modern collections is investigated. The issues of eco-design in the products of the fashion industry are researched and analyzed. The analysis of the Ukrainian eco - brands of manufacturers of products from the used things of the fashion industry is carried out. The expediency of this development is theoretically proved. The sketch assortment number of products in eco-style is developed. Design and technological documentation for the product has been developed. An industrial design of shoes was made.

Keywords: footwear, shape, fashion, brand, eco-design, upcycling, demand, quality, environmental friendliness.

Вступ. За статистичними даними Держстату України згідно аналізу даних 2019–2020 років 40% відходів у світі закінчують своє «життя» на сміттєзвалищах і замських полігонах, що представляє собою значну загрозу для життя та здоров'я людства [1, 3]. Серед цих відходів є зовсім нові уцінені і не реалізовані речі минулих модних сезонів, а також вживані речі пристойного вигляду, які можна використати для виробництва виробів повторно без переробки, також багато речей осідає в секонд-хендах і з часом також перетворюється на мотлох (рис. 1).

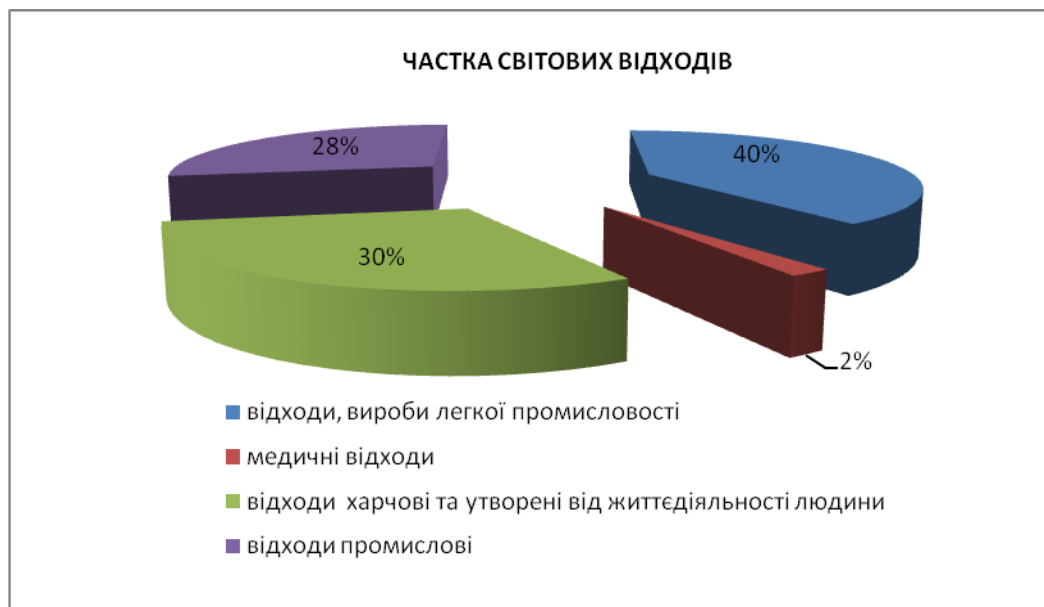


Рис. 1. Діаграма розподілу відходів

На сьогодні відомо багато шляхів переробки і утилізації відходів, але є методи і методики, за допомогою яких старим матеріалам та речам можна подарувати нове «життя» – це апсайклінг та ресайклінг [7].

Апсайклінг – виготовлення нових дизайнерських і ексклюзивних речей зі старих вже вживаних чи з перероблених матеріалів.

Ресайклінг – процес переробки матеріалів, виробів, сировини з метою виробництва точно такого ж товару вдруге. Але за для здійснення мети та збереження планети можна обрати й інший альтернативний шлях, наприклад, виготовити з вторинної сировини чи вживаних речей виріб, відмінний від попереднього, але новий, якісний і сучасний. В результаті таких робіт цінність виробу, що перероблено підвищується, а вартість зменшується. Це і є апсайклінг. Цей процес передбачає повторне використання вживаних речей без переробки сировини і матеріалів для зменшення виробництва матеріалів і технологічних процесів виробництва виробів в цілому та зменшення впливу на зміни клімату планети Земля в глобальному розумінні проблеми.

Іншими словами, ми можемо «вдихнути» в старі ношені речі нове і сучасне «життя». Так робили наші предки, так намагаємося робити і ми – нащадки. Раніше люди жили бідніше (голод, війна, тотальна скрута тощо), тому нічого не викидали. Всі речі берегли і навіть старалися зайвий раз не прати, щоб не розтріпувати матеріал. Вигадували і пришивали тимчасово до моменту прання смужки тканини під комірці, під пахви, під манжети. Одяг багато разів перешивали та перелицьовували. Дірки реставрували декоративними та функціональними заплатами або приховували фігурним штопанням чи вишивкою. Взуття також ремонтували, перешивали, фарбували та перетягували. Однак, з розвитком науково-технічного прогресу, з розвитком галузевих підприємств, що стали виробляти продукцію для масового споживача достатньо великої кількості з дешевих штучних і синтетичних матеріалів, люди отримали більше продукції і вартість її значно знизилась, тому було втрачено її цінність і як результат маємо відходи вживаної продукції на сміттєзвалищах, яка не розкладається і знищує екологію планети.

Але в природі існує колообіг, тому все повертається на початкове коло. Природа самовідновлюється з часом, але для цього потрібно багато століть. І саме тому, активісти, люди, які люблять природу і розуміють її цінність, борються за екологію впроваджуючи різні методики, методи, засоби і способи для переробки відходів та оновлення виробів. Цей напрям зараз в світі є не новим, однак залишається новаторським і цікавим, а вироби вироблені шляхом апсайклінгу чи ресайклінгу є модними, сучасними, екологічними, стильними і дійсно ексклюзивними, оскільки можна впевнено сказати, що двох однакових дизайнерських речей вироблених шляхом апсайклінгу точно не знайти.

На жаль, мода, сучасність і екологія сьогодні – це здебільшого не сумісні поняття. Ось декілька фактів для підтвердження цих слів: щосекунди віддається на спалювання чи потрапляє на звалище один контейнер одягу; три речі з п'яти виготовлених і не ношених опиняються на звалищі відходів протягом календарного року з моменту виготовлення за уцінкою; текстильна індустрія ще у 2012 році була визнана другим найбільшим забруднювачем чистої води у світі за оцінкою міжнародних експертів; приблизно 8 % викидів вуглекислого газу у світі спричиняє виробництво одягу та взуття; приблизно 7 тисяч літрів чистої води потрібно для виробництва однієї пари джинсів; щорічно як гриби ростуть секунд-хенди по світу, на яких вироби з часом перетворюються на мотлох і потрапляють на сміттєзвалища.

Погіршення екологічної ситуації в світі звичайно вплинуло і на функціонування всієї модної індустрії. З однієї сторони, бренди змінюють виробничий процес на більш екологічний та етичний або погоджуються зробити це, використовуючи екологічні матеріали і технології. З іншої сторони, самі покупці діють зважено за принципом свідомого споживання виробів, а саме: переймаються якістю того, що вдягають і взувають; не купують зайвих речей, а тільки на заміну зношених; обирають речі, що слугуватимуть довше; віддають перевагу речам із натуральних і перероблених матеріалів; віддають перевагу брендам, чие виробництво є етичним та якнайменше шкодить природі. Такі бренди найчастіше називають себе «sustainable» (відповідальний) чи «eco-friendly» [7, 9].

На сьогодні в країнах Європи вже складно когось з членів соціуму здивувати апсайклінгом. Це дуже популярна тема з розвиненим виробництвом. З'являються в різних країнах цілі тематичні крамнички, де можна придбати цікаві новинки, а саме: вироби для декору, дизайнерські переробки взуття, одягу, аксесуари та різні предмети побуту (люстри з пляшок, світильники з сантехнічних труб, текстильні абажури для ламп тощо), оновлені меблі.

В Україні цей тренд набирає все більшої популярності і в першу чергу його шанувальники - це люди, які переймаються проблемою забруднення околиць міст сміттям, яке повільно, але впевнено перетворюється на мотлох і відправляється на звалище, де розводяться паразити, утворюються гази, пожежі, віруси тощо.

Переваги апсайклінгу: екологічність; можливість позбавити будинок від старих і не потрібних чи малих за розміром речей; відмінна можливість заощадити сімейний бюджет; шанс проявити фантазію та створити нову річ індивідуально під свої вподобання і потреби. Отже, підсумовуючи можна зазначити наступне, якщо протистояти самотужки таким глобальним світовим проблемам людства як зміна клімату на планеті Земля та виснаження надр землі за рахунок видобутку корисних копалин ми не в змозі, то спробувати свої сили і можливості в такому доступному напрямку, як апсайклінг, точно можемо.

Таким чином, кожен, хто бажає змінити світ на краще може внести посильний внесок у порятунок навколишнього середовища та власного бюджету зробивши власноруч нову річ з старої для себе чи для улюбленої подружки.

Постановка завдання. Актуальним завданням підприємств індустрії моди, виробників і науковців всього світу є збереження екологічної стабільності планети і зменшення класичних виробництв по переробці сировини та виготовленню матеріалів, шляхом більшого використання для виробництва сучасних виробів модної індустрії вживаних матеріалів і речей повністю чи частково [2, 9]. Саме тому відомі у світі

бренди, такі як наприклад H&M, приділяють значну увагу переробці поліестру, поліетилену, текстилю й працюють над реалізацією глобального завдання світового масштабу з виведення з надр планети Земля забруднювачів середовища. Для виконання цих задач і завдань компанії щорічно інвестують мільярди євро в удосконалення методик, техніки та технологій по переробці відходів, їх вторинного використання у промислових масштабах або їх утилізації.

Станом на 2020 рік 20 українських брендів одягу, взуття та аксесуарів є такими, що належать до категорій «eco-friendly» та «sustainable» [9], а саме: Roussin, Raw Flaw, Kseniaschnaider, Avoska, Nczip, Natasha Fishchenko, Hanftek, My Sleeping Gypsy, Khomenko, Slowme, Майстерня Закаблук, Remade, Her, Golub Upcycled Denim Project, Ochis, Act Green, Anna Sun, Azava, Root Bags, Suburb Europe (рис. 2).

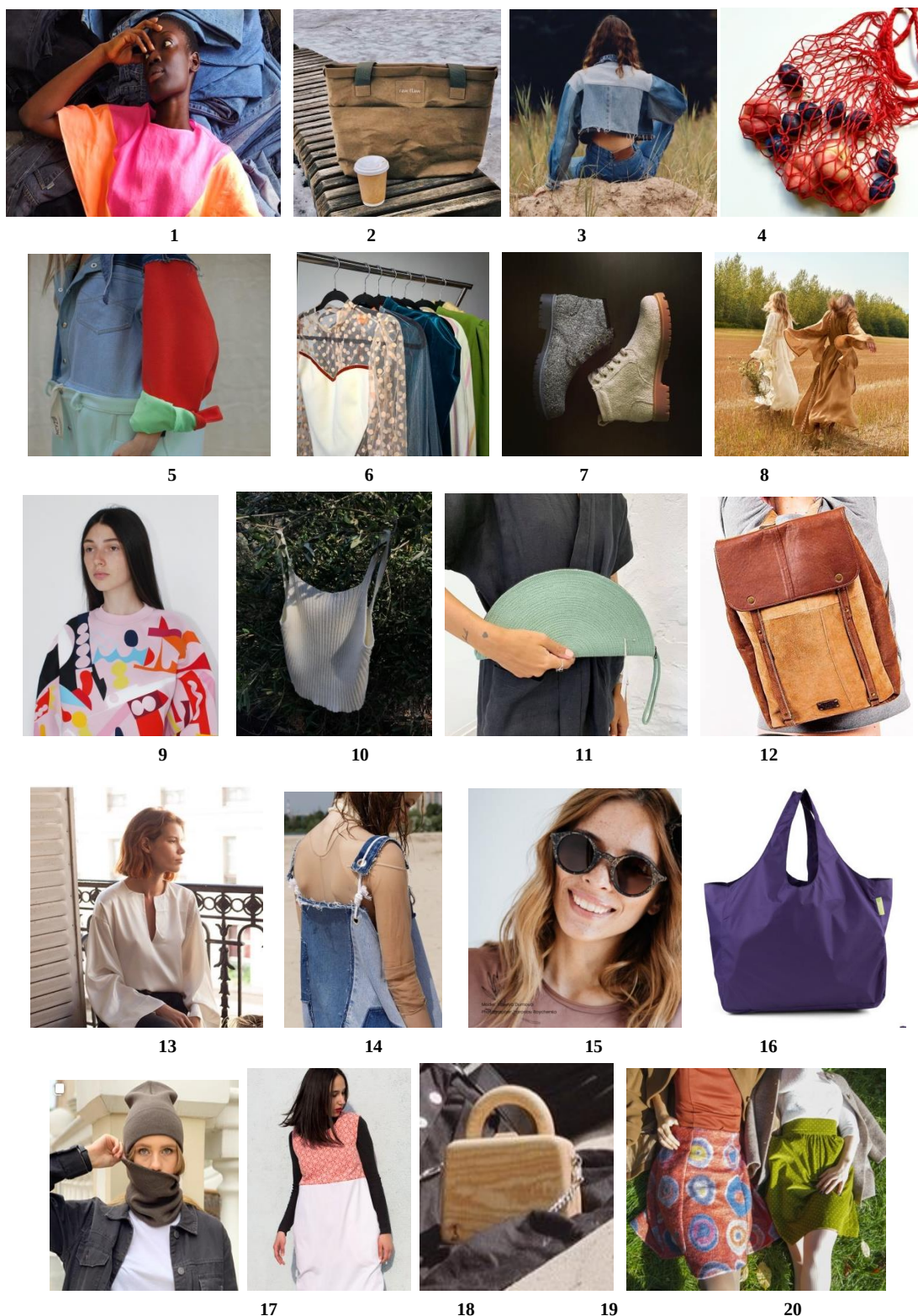


Рис. 2. Українські еко-бренди виробів індустрії моди:

1 – Roussin; 2 – Raw Flaw; 3 – Kseniaschnaider; 4 – Avoska; 5 – Nczip; 6 – Natasha Fishchenko; 7 – Hanftek; 8 – MY SLEEPING GYPSY; 9 – RCR KHOMENKO; 10 – Slowme; 11 – Майстерня Закаблук; 12 – REMADE; 13 – Her; 14 – Golub Upcycled Denim Project; 15 – Ochis; 16 – Act Green; 17 – AnnaSun; 18 – Azava; 19 – Root Bags; 20 – Suburb Europe

Головний меседж колекцій українських екобрендів – це recycling. Філософія екобрендів – зменшення кількості сміття та більш свідоме споживання виробів. В асортименті екобрендів є вироби: сумки та аксесуари з водонепроникного есо-friendly паперу; сумки з поліетиленових пакетів та плівки; футболки, виготовлені з футболок старих колекцій; речі зі світло відбивної тканини для безпеки руху в темний час на дорозі; виробництво джинсового одягу, взуття і аксесуарів з старого деніму; одяг, взуття, аксесуари, декор у стилі печворк; екологічні авоськи для щоденного користування з органічної натуральної бавовни різних кольорів, що виготовляються вручну; одяг-конструктор або взуття-трансформер, зокрема із переробленого матеріалу та його комбінацій; взуття вироблене з конопель, вирощених в Україні; вироби з принтами та вишивкою; використання біорозкладних матеріалів, у складі яких є кава, насіння льону та кополімер, для виробництва упаковки і оправ сонцезахисних окулярів; торбини з тканини на заміну поліетиленових пакетів; шапки, бафи, снуди та шарфи з екоматеріалів.

Всі речі екобренди виготовляють в єдиному екземплярі, а також дотримується принципів екостійкості, мінімалізму та zero waste. Окрім цього, в ательє та шоурумах досліджують історію костюму, одягу, взуття, аксесуарів та декоративно-прикладні ремесла, щоб створювати вироби категорії високої моди.

Обираючи екологічні бренди, треба пам'ятати про наступне: те, що ми вдягаємо чи взуваємо сьогодні, вплине на екологію завтра або вплинуло вже вчора.

Основна частина. Всі попередні теоретико-аналітичні дослідження проекту зумовили необхідність у проведенні експериментальних досліджень з метою вивчення особливостей і вимог до матеріалів та взуття на етапі розробки конструкції і технології виробництва продукту, з метою виготовлення сучасного екологічного і конкурентного виробу та забезпечення вимог споживачів [2, 4–6, 8].

Для розробки ескізів, асортиментного модельного ряду і пакету конструкторсько-технологічної документації на виріб, за основу було обрано різновид жіночого взуття – напівчобітки з деніму, для виготовлення яких взято вживаний одяг (джинси та куртки).

Текстильне взуття вироблене за принципом апсайклінгу – це зручні і легкі вироби, що мають підкладку або виробляються без неї; у конструкції мають готові вузли чи елементи, збережені від попередніх виробів. Таке взуття призначене як для повсякденного носіння так і для урочистих чи тематичних подій, залежно від задуму дизайнера, конструкції і оздоблення виробу, а також від вподобань споживача. Матеріали низу взуття обрано стандартні.

Оскільки вікова категорія носіїв і умови носіння можуть бути обрані довільно, прийнято рішення асортиментний ряд моделей взуття розробити для жіночих напівчобіток полегшеної ваги (високі черевики) полегшеної ваги з комбінації матеріалів заготовки: натуральний текстильний денім і підкладкова тканина або натуральна шкіра хромового методу дублення, для підошви обрано варіант формованої суцільної підошви з каблукіом клиноподібної форми і бортиком по периметру деталі, проміжні деталі з термоеластопласту, а конструкцію побудувати за допомогою класичної італійської методики.

Отже, формування асортименту потребує чіткого визначення комерційної стратегії виробника на ринку, постійного моніторингу складових ринку, потреб і можливостей споживачів, реального бачення і розуміння своїх нинішніх можливостей і ресурсів та найближчих перспектив, що і стане предметом подальших досліджень робочої групи науковців, тому розробка дизайну і конструкції моделі жіночого взуття, за рахунок використання в роботі принципів апсайклінгу шляхом комбінування матеріалів чи використання не змінених частин, елементів і вузлів вживаних виробів для виробництва нових дизайнерських, вишуканих і неповторних моделей взуття, визначила напрям розширення модельного ряду та зайняла те чи інше місце серед споживачів в процесі опитування на момент розробки проекту і втілення ідеї. Це дає змогу зацікавити більшу аудиторію, адже кожен чоловік чи хлопець, жінка чи дівчина, обирає для себе ту пару взуття, яка найбільше зможе підкреслити та підтримати їх індивідуальність та стиль [9, 10].

Проектування взуття проводиться на підставі класичної технології складання заготовки з урахуванням вимог до матеріалів і взуття нормативної документації та новітніх досягнень науки і техніки у галузі взуттєвого виробництва.

Проектування взуття та розробка конструкторсько-технологічної документації складається з ескізів – творча складова проекту (рис. 3), карти матеріалів, робочих конструкторських креслень (рис. 4) і технологічного процесу складання заготовки і взуття, який супроводжується поопераційними технологічними картами виконання операцій. Складання деталей здійснюється повузловим способом, а потім окремі вузли збирають в заготовку. На даному етапі виготовляється і дослідний зразок виробу (рис. 5).



Рис. 3. Ескізний модельний ряд колекції жіночого взуття з вживаних матеріалів і виробів

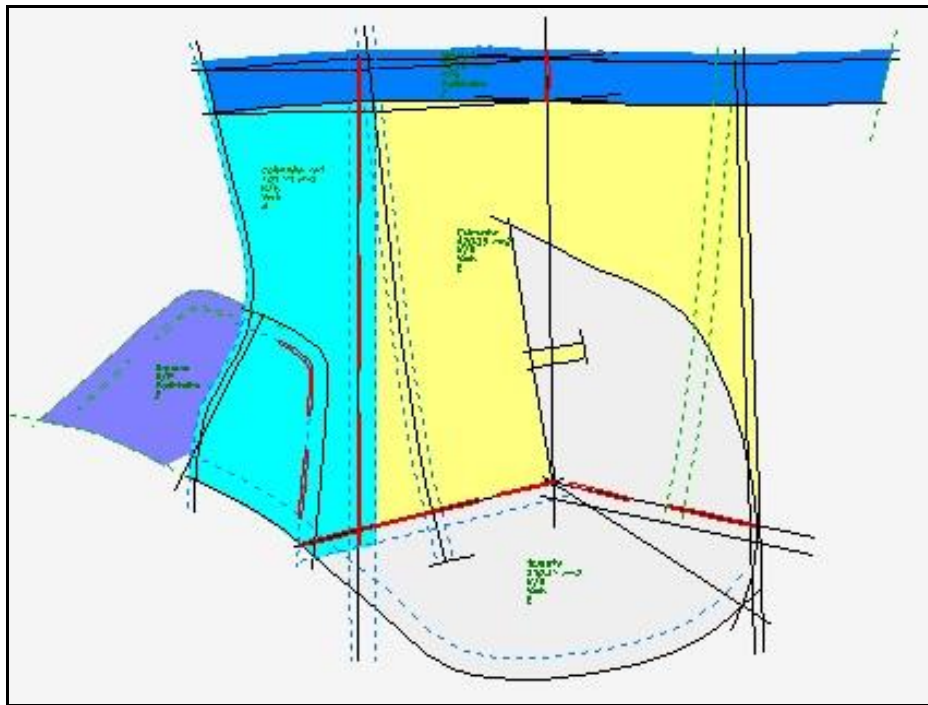


Рис. 4. Технічне креслення моделі жіночого взуття



Рис. 5. Промисловий зразок взуття (напівчобітки жіночі з вживаного деніму)

Вплив зовнішніх факторів на експлуатаційні властивості взуття даної конструкції і матеріалів зумовлений перш за все погодними умовами та кліматом де мешкає носій і визначено як відношення швидкості процесу забруднення чи руйнування елементарних складових системи об'єкту (заготовки чи взуття) від фізико-механічної дії вхідних і вихідних параметрів.

Особливе значення для формування естетичних і функціональних властивостей взуття при створенні виробу окрім дизайнерської складової, належить підбору і застосуванню сучасних матеріалів, які володіють високими або достатніми показниками відповідності до вимог європейських стандартів, а саме: гігроскопічність, зносостійкість, ремонтоздатність тощо. Вкладна устілка, що додається до взуття комплектно, є знімною і змінною згідно з вимогами і потребами споживача-носія створює комфорт в середині виробу, допомагає тримати стопи ніг сухими і сприяє розвантаженню стопи від втомлюваності.

Особливе значення в умовах сьогодення для виробництва взуття має застосування текстильних матеріалів із високоякісним пофарбуванням, водо-брудовідштовхуючою, біостійкою, біоцидною та іншими видами спеціальних обробок та покриттів, що дозволяють продовжити термін споживання виробу із збереження його зовнішнього вигляду.

Висновки. Досліджено і проаналізовано питання апсайклінгу, як явища світового масштабу. Досліджено питання можливості використання вживаних речей у створенні сучасних колекцій взуття. Досліджено і проаналізовано питання екодизайну у виробі індустрії моди. Проаналізовано українські еко-бренди для виробництва виробів індустрії моди.

Проаналізовано конструкції взуття, вимоги до взуття, методики проектування та технології для виробництва побутового взуття. Визначено, що модна індустрія в Україні розвивається і оновлюється.

Розроблено колекцію жіночого взуття в еко-стилі з вживаних виробів і супровідну конструкторсько-технологічну документацію. Виготовлено дослідний зразок взуття. Доведено теоретично доцільність розробки.

Визначено, що сьогодення ситуація на ринку виробництва виробів розвивається відповідно до кризових ситуацій в країні і принципів теорії попиту. Суттєво змінилися критерії, за якими споживач обирає і купує взуття. В пріоритеті індивідуальність, ручне виробництво одиничних виробів, ремонт і оновлення вживаних, а також помірна ціна і висока якість. Наразі, в країні склалася сприятлива ситуація для розвитку малого і середнього бізнесу шляхом використання підходів апсайклінгу. Є умови для розвитку виробництва і ринку збуту виробів.

Перспективами подальших досліджень у цьому напрямі є визначення фізико-механічних властивостей і параметрів матеріалів та готових виробів вироблених з вживаних речей, розширення асортименту й удосконалення якості виробів, згідно попиту і побажань споживачів.

Література

1. Ізовіт Т.Л. Ефект запровадження додаткового імпортного збору на розвиток легкої промисловості України / Т.Л. Ізовіт // Економіка і держава. – 2015. – № 8. – С. 54–57.
2. Бабич А.І. Вплив факторів споживчого вибору на формування асортименту жіночого взуття / А.І. Бабич, З.С. Майорова // Технології та дизайн. – К., 2016. – № 4. – С. 2–10.
3. Бородиня О. Щодо взуттєвого ринку України / О. Бородиня // Легка промисловість. – 2012. – № 3. – С. 21–22.
4. Гаркавенко С.С. Маркетинг : підручник / Гаркавенко С.С. – Київ : Лібра, 2002. – 705 с.
5. Коуплэнд Г. Все о здоровье ваших ног. От младенчества до старости / Г. Коуплэнд, С. Соломон. – М. : АСТ, 2008. – 224 с.
6. Михайловська О.А. Визначення факторів впливу конструкцій взуття на стопу людини / О.А. Михайловська, А.В. Мостовіук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 5. – С. 125–128.
7. Сайт державного комітету статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua>
8. Стопа и рациональная обувь [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.medical-enc.ru/stopa/rol-kabluka-v-konstrukcii-obuvi.shtml>
9. Українські еко-бренди [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://shotam.info/top-10-ukrains-ki-eko-brendy-iaki-pikluiut-sia-pro-dovkillia/>
10. Украинская классификация товаров ВЭД [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.qdpro.com.ua/uktzed>.

References

1. Izovit T.L. The effect of the introduction of additional import duties on the development of light industry in Ukraine // Economy and State. – 2015. – № 8. – P. 54–57.
2. Babich A.I. Influence of consumer choice factors on the formation of the range of women's shoes / A.I. Babich, Z.S. Mayorova. – K., Technologies and design, 2016 – № 4. – P. 2–10.
3. Borodnya O. Regarding the shoe market of Ukraine // Light industry. – 2012. – № 3. – P. 21–22.
4. Garkavenko S.S. Marketing. Textbook. – Kyiv: Libra, 2002. – 705 p.
5. Copeland G. All about the health of your feet. From infancy to old age / G. Copeland, S. Solomon. – M. : ACT, 2008. – 224 p.
6. Mikhailovskaya O.A. Determination of factors influencing shoe designs on the human foot / O.A. Mikhailovskaya, A.B. Mostoviyuk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2012. – Issue 5. – P. 125–128.
7. Website of the State Statistics Committee of Ukraine. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>
8. Foot and rational footwear. URL: <http://www.medical-enc.ru/stopa/rol-kabluka-v-konstrukcii-obuvi.shtml>
9. Ukrainian eco-brands. URL: <https://shotam.info/top-10-ukrains-ki-eko-brendy-iaki-pikluiut-sia-pro-dovkillia/>
10. Ukrainian classification of goods for foreign trade. URL: <http://www.qdpro.com.ua/uktzed>

Надійшла / Paper received: 01.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 04.06.2020

РОЗРОБКА КОЛЕКЦІЇ ДИТЯЧОГО ВЗУТТЯ З ОРТО-ПРОФІЛАКТИЧНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ КОНСТРУКЦІЇ ЗАГОТОВКИ ВИРОБІВ

У статті досліджено і описано питання формування асортименту дитячого взуття за результатами теоретико-аналітичних досліджень і аналізу рекламцій покупців даного взуття у роздрібних торгових мережах та анкетування оптових замовників взуття в умовах ТОВ «Фенікс», м. Бровари. Досліджено властивості матеріалів і вимоги до дитячого взуття згідно зі стандартизованими вимогами до нього. Досліджено експериментально процес поетапного виготовлення взуття з метою його удосконалення на етапах створення конструкції виробу і етапах його виробництва. Розроблено ескізний проект на колекцію дитячого взуття відкритого типу з орто-профілактичними елементами заготовки виробів для літнього сезону носіння, пакет конструкторсько-технологічної документації на вироби даної серії. Розроблені креслення конструкцій асортиментної серії взуття для дітей віком від 2 до 5 років з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Розроблено розгорнутий технологічний процес виготовлення дитячого взуття відкритого типу з елементами удосконалення етапів виробництва. Виготовлено та апробовано зразки моделей конструктивно і технологічно удосконаленого дитячого взуття з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Перевірено згідно з вимогами стандартів ДСТУ EN ISO 20344: 2009 і доведено експериментальним шляхом високі фізико-механічні характеристики натуральних шкіряних матеріалів для виробництва верху взуття і параметри зносостійкості та деформації різних частин моделей готового взуття дитячого асортименту, призначеного для літнього сезону носіння. Лінійка взуття запущена у виробництво на ТОВ «Фенікс», м. Бровари

Ключові слова: асортимент, якість, формостійкість, зносостійкість, деформація, характеристика, ергономіка, комфорт, шкіра, показники, властивість, виріб.

A. BABYCH, I. NIKOLAENKO

Kyiv National University of Technology and Design

DEVELOPMENT OF A COLLECTION OF CHILDREN'S SHOES WITH ORTHO-PREVENTIVE ELEMENTS OF PRODUCTION PROCEDURE STRUCTURE

The article investigates and describes the formation of the range of children's shoes based on the results of theoretical and analytical research and analysis of complaints of buyers of these shoes in retail chains and surveys of wholesale customers of shoes in the company "Phoenix", Brovary. The properties of materials and requirements for children's shoes according to standardized requirements for it have been studied. The process of stage-by-stage production of footwear with the purpose of its improvement at the stages of creation of a product design and stages of its production is investigated experimentally. The sketch project for a collection of children's footwear of open type with ortho-preventive elements of preparation of products for a summer season of wearing, a package of the design and technological documentation on products of this series is developed. Drawings of designs of an assortment series of footwear for children aged from 2 to 5 years with the increased operational characteristics are developed. The developed technological process of production of children's footwear of open type with elements of improvement of stages of production is developed. Samples of models of constructively and technologically improved children's footwear with the increased operational characteristics are made and tested. Tested in accordance with the requirements of DSTU EN ISO 20344: 2009 and experimentally proven high physical and mechanical properties of natural leather materials for the production of shoe uppers and parameters of wear resistance and deformation of various parts of ready-made models of children's shoes designed for summer wearing season. The shoe line was launched into production at Phoenix LLC, Brovary

Key words: assortment, quality, shape resistance, wear resistance, deformation, characteristic, ergonomics, comfort, leather, indicator, property, product.

Вступ. Діти – це майбутнє людства, тому збереження здоров'я людей майбутніх поколінь є надважливим завданням для всіх виробників товарів дитячого асортименту і керівництва країни в цілому. Основний вектор напрямку розвитку людства і промисловості у XXI ст. – це екологізація та комфортність [1].

В умовах сучасного, швидкого і бурхливого ритму життя багатьох українців актуальним питанням є придбання взуття підвищеної комфортності для зменшення стомлюваності ніг та організму в цілому. Тому удосконалення конструкцій і технологій чи технологічних етапів виробництва взуття з метою виробництва виробів, які володіють високими функціонально-експлуатаційними характеристиками, є однією з задач даного наукового дослідження. Це питання є особливо важливим і для розробки взуття дитячого асортименту, оскільки діти ведуть активний спосіб життя, рухаються, стрибають, бігають.

Використання сучасних натуральних матеріалів і новітніх технологій виробництва взуття для дітей вікової категорії 2–5 років є особливо важливим, адже саме взуття впливає на формування і розвиток стоп ніг дитини, суглобів та кісток нижніх кінцівок, правильно сформованої постави кісток скелету та гарної ходи і здорового самопочуття організму. Взуття має допомагати розвиватися, а не спричиняти захворювання і травми [2–4, 6]. Тому, в цій роботі мова буде йти про конструктивні особливості, сучасні підходи щодо ескізування, моделювання та проектування виробів сучасних конструкцій взуття для дітей, про підбір і використання матеріалів і комплектуючих, про фактори споживчого вибору, що впливають на формування спектру впровадження новацій у виробництво взуття, етапи удосконалення конструкторських і технологічних ланок процесів виробництва та обробки деталей і взуття, експериментальні випробування матеріалів і готового взуття з метою розробки колекції виробів для дітей з орто-профілактичними елементами для покращення функціонально-експлуатаційних характеристик виробу з використанням сучасних методів і засобів виробництва [2–9].

Оскільки людина у сучасному світі має першочергово потреби, крім харчування, в одязі та взутті, тому можна впевнено стверджувати, що виробництво взуття у роки економічного зростання чи занепаду країни завжди є і залишається привабливим великим чи малим бізнесом, що має свою нішу споживачів і вирізняється стійким попитом як на нові вироби так і на послуги з ремонту.

В старі часи взуття виробляли вручну без застосування обладнання. Зараз же спостерігається у світі така ж тенденція. Великі механізовані і роботизовані підприємства занепадають, а маленькі ручні і частково механізовані утримуються на плаву і функціонують. Споживач також змінився. Вимоги зросли щодо показників якості, надійності, комфортності, зносостійкості виробів. Покупець хоче мати для себе і своїх дітей сучасні та ексклюзивні речі високої якості, але помірної ціни.

Українські дизайнери і виробники взуття щорічно на подіумах і професійних виставках демонструють свої неперевершені таланти та новаторські ідеї, що втілені у виробах, продовжують навчатись та розвиватись, вдосконалювати свою майстерність, підвищуючи якісні і кількісні показники виробів українського виробництва.

Постановка завдання. Актуальним завданням підприємств, особливо тих, які спеціалізуються на виробництві взуття дитячого асортименту є чітке дотримання вимог стандартів щодо використання матеріалів і комплектуючих, особливостей форм і конструкцій колодок, технологічних режимів і параметрів виробничого процесу. Не менш важливим є дослідження особливостей стоп дітей, вимог до виробів і матеріалів, особливостей конструкцій, технологій з метою удосконалення конкретної лінійки виробів та виробництва виробів в цілому, осучаснення конструкції взуття та вдосконалення або покращення показників якості та комфортності. Даний спектр задач дослідження дає можливість дослідити, проаналізувати та сформулювати перелік дій, які забезпечують необхідний рівень якості конструкцій, технологій і готових виробів [1–9].

Метою роботи є розробка та виготовлення колекції дитячого взуття відкритого типу для літнього сезону носіння з орто-профілактичними елементами конструкції заготовки виробу і деталями виробу (устілки) та розробка повної конструкторсько-технологічної документації на лінійку виробів.

Для здійснення мети даної роботи і виконання задач необхідно провести дослідження діючих на підприємстві «Фенікс» технологій виробництва дитячого взуття, асортимент та відповідність призначенню матеріалів та комплектуючих, показників якості та ефективності виконання робіт, які забезпечують необхідний рівень відповідності виробів до вимог стандартів. Провести дослідження і аналіз рекламаций покупців цього взуття у роздрібних мережах та анкетування оптових замовників взуття в умовах ТОВ «Фенікс», м. Бровари. Проведений комплекс робіт веде до удосконалення асортименту виробів, їх конструкцій, удосконалення технологічних процесів виробництва взуття і покращення його якісних і кількісних показників шляхом дослідження і аналізу фізико-механічних властивостей сучасних матеріалів та взуття [2].

Основна частина. В результаті аналізу вимог нормативно-технічної літератури на дитяче взуття, наукових розробок дослідників попередніх років, таких як Катрич В.М. та інші [5, 8, 9], сучасних напрямків моди та думок споживачів, оптових замовників і виробничників, отриманих шляхом аналізу рекламаций покупців цього взуття у роздрібних мережах та анкетування оптових замовників взуття в умовах ТОВ «Фенікс», м. Бровари за критеріями вагомості, була розроблена асортиментна серія дитячих черевиків відкритого типу із завищеними берцями з орто-профілактичними деталями і вставками для повсякденного носіння.

На основі ескізного проекту, якому передувала творча робота по пошуку правильного рішення щодо розробки моделей, їх кольорової гами і розташування орто-профілактичних елементів, на початку роботи створювались чорно-білі ручні форескізи, далі найкращі з них були ескізовані і виконані у кольорі з прорисовкою деталей і швів (рис. 1), було розроблено робочі креслення моделей (рис. 2), деталювання (рис. 3), підібрано і описано групи матеріалів, описано поетапний технологічний процес його виробництва.



Рис. 1. Модельний ряд ескізів колекції дитячого взуття

У процесі дослідження і анкетування споживачів виявлено, що ціна на дитячі вироби є важливим, але не першочерговим показником вагомості, який відсуває комфорт на останнє місце у діаграмі вагомості, а

навпаки є найвагомішим. Тому питаннями створення комфортного дитячого взуття виробнику необхідно займатися більш глибоко.

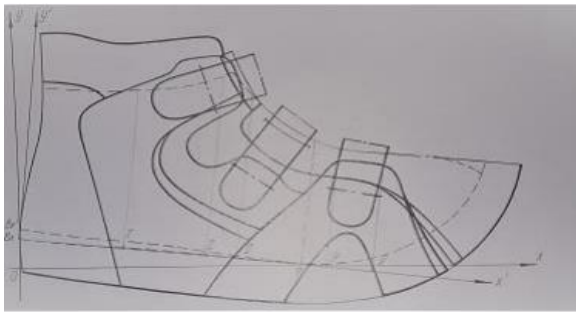


Рис. 2. Робоче креслення моделі дитячого взуття



Рис. 3. Лекала моделі дитячого взуття

Вивчати питання по вдосконаленню конструкції і її здешевленню не втрачаючи показників якості і комфортності. Так, в даній конструкції попередньо виявлено недолік, на думку споживачів, – жорсткий високий берець у щиколотковій частині стопи, який спричиняє дискомфорт і натирає пухирі на щиколотках носія. Цей недолік виправлено конструктивно і технологічно за допомогою вклеювання у гомілковій частині взуття м'якого амортизатора п'яти і щиколотки. Це і є елементом удосконалення конструкції і технології виробу, що візуально представлено в роботі (рис. 4).



Рис. 4. Візуалізація елементів удосконалення конструкції взуття дитячого асортименту

За результатами дослідження виготовлено дослідні зразки виробів (рис. 5). Зразки піддавалися експериментальним випробуванням на фізико-механічні характеристики, що підтвердили високі показники якості і комфортності виробу. Зроблена спроба з удосконалення базового технологічного процесу за рахунок використання деталей для корекції п'яти і щиколотки є успішною і доводить доцільність даного дослідження. Всі технічні види робіт скомплектовані у документ під назвою конструкторсько-технологічна документація на вирів і передані виробнику взуття..

Як результат роботи виготовлено і запущено у виробництво промислову колекцію взуття дитячого асортименту з орто-профілактичними вставками та деталями в умовах ТОВ «Фенікс», м. Бровари, яка є успішною і має попит у споживачів (рис. 6).

Отже, слід відмітити, що всі дослідні зразки і вироби промислової колекції взуття дитячого асортименту вироблені з натуральних шкір для верху взуття і підкладки, мають орто-профілактичні вставки і устілку, конструктивно відповідають вимогам стандартів і мають високий жорсткий берець та систему фіксаторів взуття на стопі. Готові вироби пройшли експериментальну перевірку і згідно з показниками фізичних та фізико-механічних властивостей повністю відповідають вимогам нормативних документів, є безпечними і надійними для стопи дитини.



Рис. 5. Дослідні зразки виробів дитячого асортименту з орто-профілактичними деталями і вставками



Рис. 6. Колекція виробів дитячого асортименту з орто-профілактичними вставками

Висновки. У виготовленні взуття традиційним є комплекс послідовно виконуваних конструкторських і технологічних етапів. Якісне виконання пунктів кожного етапу дозволяє досягти необхідних властивостей якості взуття й задовольнити вимоги сучасного вибагливого споживача.

Найбільш важливими етапами щодо формування показників якості продукції є проектний етап і технологічний процес виробництва.

Важливі для взуття ергономічні властивості й антропометричні показники, що визначаються такими стадіями проектного етапу, як дизайн і складання ескізів – проектування й конструювання колодок і взуття, розробка деталей верху й низу, підбір взуттєвих матеріалів, а також стадіями технологічного процесу – розкрій деталей, складання заготовки верху взуття (зшивання деталей), формування заготовки верху на колодці (затяжка верху) та закріплення заготовки верху й низу (прикріплення підошви).

Експлуатаційні властивості, які обумовлюють надійність, довговічність і ремонтпридатність взуття, визначаються також стадіями технологічного процесу – складання заготовки та кріплення заготовки верху й низу.

Щодо гігієнічних властивостей, то вони характеризуються переважно особливостями структури й властивостями взуттєвих матеріалів, чим визначають безпечність взуття. Отже, за результатами теоретико-аналітичних та маркетингових досліджень можна зробити висновок про те, що на якість взуття впливає безпосередньо якість і безпечність взуттєвих матеріалів, правильно складений технологічний процес і підібрані технологічні нормативи виконання операцій, процес конструювання та моделювання, які відіграють суттєву роль у виготовленні конкурентоспроможної продукції, яка є гідною нашого споживача.

Вітчизняним виробникам доцільно виробляти взуття з натуральних матеріалів, дотримуватися правильної технології виготовлення та вимог стандартів.

Комплексний підхід до вирішення питань корегування технологічного процесу виробництва взуття веде до повної чи часткової економії ресурсів і збільшення прибутків. У зв'язку з цим було розроблено моделі дитячого взуття відкритого типу з орто-профілактичними вставками і деталями. В розробці взуття враховано вимоги щодо естетики і комфортності виробу, підбрано і описано групи матеріалів та поетапний технологічний процес його виробництва. Зроблена спроба з удосконалення базового технологічного процесу за рахунок використання деталей для корекції п'яті і щиколотки.

Згідно з попередніми теоретико-аналітичними дослідженнями виявлено, що покупці взуття для дітей віддають перевагу комфортним виробам для повсякденного носіння. Цей вибір обґрунтований тим, що здоров'я дітей і їх ніжок відіграє важливу роль для батьків.

Як результат дослідження, розроблено і виготовлено колекцію дитячого взуття відкритого типу із завищеними берцями та орто-профілактичними деталями і вставками. Показники якості і комфортності виробів досліджено і підтверджено експериментально.

Вітчизняним виробникам доцільно виробляти взуття з натуральних матеріалів, дотримуватися правильної технології виготовлення.

Отже, за результатами теоретико-аналітичних та маркетингових досліджень можна зробити висновок про те, що на якість взуття впливає безпосередньо якість і безпечність взуттєвих матеріалів, правильно складений технологічний процес і підібрані технологічні нормативи виконання операцій, процес конструювання та моделювання, які відіграють суттєву роль у виготовленні конкурентоспроможної продукції.

Література

1. Ізовіт Т. Тенденції розвитку українського ринку виробництва шкіри / Т. Ізовіт, І. Науменко // Легка промисловість. – 2015. – № 4. – С. 2–4.
2. Бабиш А.І. Аналіз результатів сертифікаційних випробувань щодо надійності дитячого взуття / А.І. Бабиш // Легка промисловість. – 2015. – № 2. – С. 52–53.
3. Бабиш А.І. Аналіз чинників, що впливають на формування асортименту і підвищення попиту на дитяче взуття / А.І. Бабиш, М.О. Федіна // Легка промисловість. – 2014. – № 4. – С. 50–56.
4. Бегняк В.І. Основи конструювання і проектування виробів із шкіри : навч. посібник / Віра Іванівна Бегняк – Хмельницький, 2002. – 260 с.
5. Взуття. Деталі та заготовки верху. Технічні умови : ДСТУ 3923-99 (ГОСТ 30678-2000). – [Чинний від 2000-10-31]. – К. : Держспоживстандарт України, 1999. – 55 с. – (Національні стандарти України).
6. Катрич В.М. Комплексна оцінка якості шкіряної сировини, що надходить на ринок України [Електронний ресурс] / В.М. Катрич // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія: Технічні науки. – 2014. – № 1. – С. 80–88. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvpuetn_2014_1_11
7. Катрич В. Взуття для дітей дошкільного віку: надійність з позиції якості матеріалів / В. Катрич // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2010. – № 1 (62). – С. 62–65.
8. Взуття. Методи визначення лінійних розмірів : ДСТУ 3164-95. – [Чинний від 1996-01-07]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 30 с.
9. Взуття. Номенклатура показників якості : ДСТУ 3485-96. – [Чинний від 1998-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1998. – 16 с. – (Національний стандарт України).
10. Офіційний сайт Державної фіскальної служби України [Електронний ресурс] / Митна статистика. – Режим доступу : Офіційний сайт Держстату України. – Режим доступу : www.ukrstat.gov.ua/http://sfs.gov.ua/ms/.
11. Особенности проектирования коллекций разных типов [Електронний ресурс]. – Режим доступа : www.pobiv.ru/art/roektirovanie_kollekzii.

References

1. Izovit T. Tendentsii rozvytku ukrainskoho rynku vyrobnytstva shkiry / T. Izovit, I. Naumenko // Lehka promyslovist. – 2015. – № 4. – S. 2–4.
2. Babysh A.I. Analiz rezultativ sertyfikatsiinykh vyprobuvan shchodo nadiinosti dytiachoho vzuttia / A.I. Babysh // Lehka promyslovist. – 2015. – № 2. – S. 52–53.
3. Babysh A.I. Analiz chynnykiv, shcho vplyvaiut na formuvannia asortymentu i pidvyshchennia popytu na dytiache vzuttia / A.I. Babysh, M.O. Fedina // Lehka promyslovist. – 2014. – № 4. – S. 50–56.
4. Behniak V.I. Osnovy konstruiuvannia i proektuvannia vyrobiv iz shkiry : navch. posibnyk / Vira Ivanivna Behniak – Khmelnytskyi, 2002. – 260 s.
5. Vzuttia. Detali ta zahotovky verkhu. Tekhnichni umovy : DSTU 3923-99 (HOST 30678-2000). – [Chynnyi vid 2000-10-31]. – K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1999. – 55 s. – (Natsionalni standarty Ukrainy).
6. Katrych V.M. Kompleksna otsinka yakosti shkiriano syrovyny, shcho nadkhodyt na rynek Ukrainy [Elektronnyi resurs] / V.M. Katrych // Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli. Serii: Tekhnichni nauky. – 2014. – № 1. – S. 80–88. – Rezhym dostupu : http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvpuetn_2014_1_11
7. Katrych V. Vzuttia dlia ditei doshkilnoho viku: nadiinist z pozytsii yakosti materialiv / V. Katrych // Standartyzatsiia, sertyfikatsiia, yakist. – 2010. – № 1 (62). – S. 62–65.
8. Vzuttia. Metody vyznachennia liniinykh rozmiriv : DSTU 3164-95. – [Chynnyi vid 1996-01-07]. – K. : Derzhstandart Ukrainy, 1995. – 30 s.
9. Vzuttia. Nomenklatura pokaznykiv yakosti : DSTU 3485-96. – [Chynnyi vid 1998-01-01]. – K. : Derzhstandart Ukrainy, 1998. – 16 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
10. Ofitsiinyi sait Derzhavnoi fiskalnoi sluzhby Ukrainy [Elektronnyi resurs] / Mytna statystyka. – Rezhym dostupu : Ofitsiinyi sait Derzhstatu Ukrainy. – Rezhym dostupu : www.ukrstat.gov.ua/http://sfs.gov.ua/ms/.
11. Osobennosti proektirovaniya kollekcij raznykh tipov [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : www.pobiv.ru/art/roektirovanie_kollekzii.

Надійшла / Paper received: 02.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 05.06.2020

ВИГОТОВЛЕННЯ ВОДОСТІЙКОГО ХУТРОВОГО МАТЕРІАЛУ

У роботі досліджено процес наповнювання-жировання водостійкого напівфабрикату хутрового велюру з сировини нутрії шляхом комп'ютерної оптимізації складу композиції на основі алкенмалеїнового полімеру. Для оптимізації складу алкенмалеїново-акрилсинтанної композиції використано модифікований метод Макліна-Андерсона з врахуванням виду математичної моделі й функцію бажаності Харрінгтона. Розроблена технологія виготовлення водостійкого велюру нутрії апробована в умовах дослідного виробництва шкіряного підприємства ПрАТ «Чинбар» (м. Київ).

Ключові слова: водостійкий велюр нутрії, наповнювання-жировання, властивості велюру, багатокритеріальна оптимізація, функція бажаності Харрінгтона.

A. DANYLKOYCH

Kyiv National University of Technologies and Design

N. KHLIEBNIKOVA

Cherkasy State Business College

MANUFACTURE OF WATERPROOF FUR MATERIAL

The paper investigates the process of filling and hydrophobizing water-resistant semi-finished nutria fur velour by computer optimization of the composition based on alkenmalein polymer. Nutria skins with a coarse hair cover of 24–25 dm² have been used after the removal of the bristles and subsequent chromium-aluminium tanning of the semi-finished product to the welding temperature (T_z) of the skin tissue of 90 °C. To optimize alkenmalein acrylsyntane composition, a modified McLean-Anderson method has been used, taking into account the type of mathematical model and the Harrington desirability function. The optimal filling and hydrophobizing structure of the composition has been worked out, which includes, wt. %: alkenmalein polymer - 54.1, Melio Resin A-821 polyacrylic emulsion - 18.8, syntane NS-DS - 27.1 at the consumption, respectively, % of the mass of the pressed semi-finished velour nutria: 10.6, 3.7 and 5.3 at a ratio of semi-finished product / process solution 1 / 7. The developed technology of making waterproof velour nutria has been tested in the conditions of experimental production of leather enterprise Chinbar Private Joint Stock Company (Kyiv). The hydrophobized nutria fur velour has been obtained by the developed technology with a significant increase in water resistance in dynamic conditions and higher yield of the material area by 5.6% compared to the semi-finished product of chromium-aluminium tanning. The use of the offered technology provides a homogeneous elastic material in topographic areas of inhomogeneous heterogeneous porous raw materials. The developed technology of production of hydrophobized nutria fur velour can be effectively used in manufacturing sheepskin and fur and leather materials of higher water resistance. According to the set of properties, the obtained hydrophobized nutria velour is suitable for the manufacture of products for various purposes that can be used in extreme conditions.

Keywords: waterproof nutria velour, filling-hydrophobizing, velour properties, multicriteria optimization, Harrington desirability function.

Постановка проблеми. Виробництво хутрових матеріалів з підвищеними експлуатаційними властивостями вимагає пошуку нових реагентів і розроблення інноваційних технологій їх виготовлення. Зокрема це стосується хутрових матеріалів, вироби з яких експлуатуються шкірною тканиною назовні. При цьому необхідно враховувати їх здатність щодо опору механічним впливам та стійкість до дії високої вологості. Це особливо має значення для хутрової сировини підвищеної пористості при наскрізному розташуванні волосу в шкірній тканині. У зв'язку з цим для підвищення експлуатаційних властивостей таких хутрових матеріалів ефективним є застосування нових поліфункціональних наповнювальних композицій. Враховуючи хімічний склад і особливості взаємодії хімічних реагентів наповнювально-гідрофобізуючої дії з структурою колагену шкірної тканини хутра при виготовленні водостійкого хутрового матеріалу використано композицію, що включає алкенмалеїновий полімер.

Аналіз останніх публікацій. Для виготовлення стійких до води матеріалів використовується широкий асортимент гідрофобізуючих низькомолекулярних і високомолекулярних реагентів різного хімічного складу і структури [1]. У технологіях виготовлення колагеновмісних матеріалів підвищеної водостійкості [2] рекомендується залежно від механізму гідрофобізації використовувати естери жирних і оксикарбонових кислот та їх похідні, оксидильовані жирні кислоти, азотмісткі сполуки та ін. або металокомплексні сполуки, кремнійорганічні каучуки, фторкарбонові полімери, фтормісткі силани, комбінації солей алюмінію з парафіном чи воском та ін.

Результати дослідження впливу хімічного складу фтормістких амінополімерів на фізико-механічні властивості шкіряного напівфабрикату наведено у роботі [3]. Зокрема, при ефективному наповнюванні напівфабрикату встановлено підвищення його шліфувальної здатності. В результаті отримується велюровий матеріал з необхідним комплексом фізико-механічних характеристик та рівномірним ворсом. Авторами роботи [4] показано, що при використанні силанів і фторсилоксанів для гідрофобізації напівфабрикату можна підвищити водостійкість шкірної тканини при зниженні її вологості та намокання. При цьому тривалість водопромокання зростає з 5 хв до 170 хв. Фтормісткі силани і полімери на основі фторкарбонових кислот [5] сприяють підвищенню стійкості спилкового матеріалу до води. Досліджено вплив фтормісткого кополімеру на водостійкість натурального матеріалу [6]. Встановлено підвищення водопромокання шкіри у динамічних умовах до 55 хв та крайового кута змочування до 155° за 5 % вмісту фтору в кополімері. Використання гібридних поліфункціональних поліуретанів [7] сприяє підвищенню

водостійкості та брудовідштовхування шкіри, але при цьому підвищується жорсткість та погіршується зовнішній вигляд натурального матеріалу.

Високий ступінь наповнювання-гідрофобізації шкіряного напівфабрикату хромового дублення отримано при використанні кополімерів акрилової кислоти сумісно з композицією на основі гідрофобних акрилових мономерів з прямими вуглеводневими радикалами [8]. При цьому максимальний ефект гідрофобізації спостерігається при довжині радикала понад C_{16} .

Для підвищення водостійкості й інших експлуатаційних характеристик шкіряно-хутрових матеріалів із шкур овчин і великої рогатої худоби у ряді робіт [9, 10] рекомендується комплексне використання хімічних реагентів і низькотемпературної плазми. Показано підвищення водостійкості матеріалу при зменшенні його гігроскопічності і збільшенні тривалості всмоктування краплі води відповідно на 76–87 % і 86 % для шкір з сировини овчини і великої рогатої худоби порівняно з негідрофобізованими матеріалами.

Таким чином, аналіз літературних джерел свідчить про те, що проблема отримання водостійких колагенвмісних матеріалів переважно стосується шкіряних матеріалів. При цьому, в основному, використовуються композиції на основі кремнійорганічних фтормістких полімерів, модифікованих кополімерів, полімерів акрилової кислоти та інших. Слід відзначити, що особливістю виготовлення водостійкого хутрового велюру з сировини підвищеної неоднорідної пористості є те, що хімічні реагенти повинні мати поліфункціональний характер і забезпечувати достатню наповненість і гідрофобність структури шкірної тканини при збереженні її високої еластичності. При виготовленні водостійкого велюру із шкурок нутрії необхідно враховувати особливості колагено-кератинової структури хутрового напівфабрикату, топографічну нерівномірність шкірної тканини, особливості її пористості та порівняно невисоку міцність.

Метою дослідження є: розроблення технології виготовлення водостійкого хутрового матеріалу з використанням комп'ютерної оптимізації хімічного складу наповнювальної трикомпонентної композиції на основі алкенмалеїнового полімеру.

Результати дослідження та їх обговорення. У роботі використано сировину шкурок нутрії з грубим волоссяним покривом площею 24–25 дм² після видалення остьового волосу та наступного хром-алюмінієвого додублювання напівфабрикату за технологією [11] до температури зварювання (T_3) шкірної тканини 90 °С. Для виготовлення велюру нутрії підвищеної стійкості до води об'єктом дослідження був процес оптимізації складу наповнювально-жирувальної композиції на основі алкенмалеїнового полімеру та визначення ефективних умов її використання. Досліджувана алкенмалеїново-акрилсинтанна (АМС) композиція включала алкенмалеїновий (АМ) полімер, синтезований на основі α -алкенів C_{20-24} і малеїнового ангідриду з середньочисловою молекулярною масою $38 \cdot 10^3$, поліакрилову (ПА) емульсію Melio Resin A-821 фірми «Clariant» (Німеччина) і продукт синтезу 2-нафтолсульфокислоти з діоксидифенілсульфоном (синтан НС-ДС).

Для отримання гідрофобізованого велюру нутрії в систему напівфабрикат / робочий розчин при співвідношенні 1 / 7 послідовно дозували інгредієнти композиції АМС за температури 40–43 °С. Спочатку в баркас додавали АМ-полімер, через 15–20 хв – наповнювальну суміш поліакрилової емульсії Melio Resin A-821 і синтан 2-нафтолсульфокислоти з діоксидифенілсульфоном. Ще через 1,0 год – решту гідрофобізуючого АМ-полімеру при загальній витраті композиції 28 г/дм³ і тривалості технологічного процесу 2,5 год. Потім напівфабрикат віджимали у центрифугі до вологості 52–53 % та виконували сушильно-зволожувальні процеси і операції до вмісту води 12–14 % та шліфування шкірної тканини. Після витримання гідрофобізованого велюру нутрії в стандартних умовах [12] проводили його фізико-хімічні випробування. Контрольний варіант технології оброблення велюру нутрії відрізнявся від розробленого відсутністю процесу наповнювання, а для жирування напівфабрикату велюру нутрії використовували електролітостійку емульсію матеріалу tynol DL фірми Trumpler (Німеччина) за технологією [11].

У роботі проведено експериментальні дослідження впливу складу композиції АМС на фізико-хімічні властивості хутрового матеріалу – велюру нутрії. Зразки додубленого і жируваного напівфабрикату шкурок нутрії відбирали за методом пропорційних квадратів [12]. Температуру зварювання (T_3) шкірної тканини хутрового велюру визначали за початковим скороченням довжини зразка при нагріванні у воді зі швидкістю 2,5–3,0 °С/хв. Ефективність використання композиції при наповнюванні шкірної тканини напівфабрикату велюру визначали у % за різницею витраченої композиції АМС та її залишком у відпрацьованому розчині, водостійкістю гідрофобізованого хутрового велюру та його виходом за площею. Водостійкість отриманого хутрового матеріалу оцінювали у динамічних умовах за тривалістю водопомокання на приладі ПВД-2 (РФ) при деформуванні зразків зі швидкістю 70 хв⁻¹. Фізико-механічні властивості вимірювали за методикою [12] на розривній машині РТ-250М (РФ) при швидкості деформування 80 мм/хв. Пористість шкірної тканини велюру визначали за відношенням об'єму пор до уявного об'єму зразка. Вихід площі хутрового велюру оцінювали відношенням площ наповнено-жируваного напівфабрикату, отриманого за розробленою технологією, до ненаповненого напівфабрикату у стандартних умовах.

Оптимізація наповнювально-жирувального складу композиції полягала у дослідженні її технологічних властивостей в експериментальних точках D -оптимального плану експерименту, синтезованого за модифікованим методом Макліна-Андерсона [13], отриманні математичної моделі «склад композиції-властивості велюру» та визначенні оптимального вмісту інгредієнтів композиції з використанням функції бажаності Харрінгтона [14] при максимальній тривалості водопомокання шкірної тканини велюру нутрії за ефективного відпрацювання композиції та відповідного виходу його площі.

У процесі роботи досліджувався вплив інгредієнтів композиції АМС на технологічні властивості велюру нутрії. На основі попередніх досліджень [15] встановлені межі змін інгредієнтів в натуральних значеннях X_i , мас. частин, у складі наповнювально-жирувальної композиції (табл. 1), де інгредієнти X_1 і X_4 за хімічним складом відповідають алкенмалеїновому полімеру, зокрема X_1 – кількість полімеру, що введена на початку технологічного процесу наповнювання, а X_4 – на завершальній стадії наповнювання-жирування. З цієї метою необхідно отримати нелінійну математичну поліноміальну модель «склад-властивості», яка містить інгредієнти композиції для кожного фізико-хімічного показника гідрофобізованого велюру нутрії

Таблиця 1

Обмеження інгредієнтів наповнювально-жирувальної композиції

i	Межі зміни інгредієнтів композиції, в значеннях			
	натуральних X_i		кодованих X_i	
	min	max	min	max
1	0.84	10.36	0.03	0.37
2	3.92	13.44	0.14	0.48
3	3.08	12.32	0.11	0.44
4	5.88	11.20	0.21	0.40

Примітка. Обмеження інгредієнтів композиції відповідно на нижньому і верхньому рівнях.

Математична модель «склад-властивості» для такого складу композиції має вигляд:

$$\hat{y}_i = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4, \quad (1)$$

де $\hat{y}_i$ – прогнозне значення фізико-хімічного показника хутрового велюру, $i = 1 \div 3$; зокрема, ефективність впливу складу композиції АМС на фізико-хімічні властивості хутрового велюру нутрії оцінювали за показниками:

y_1 – ефективність використання композиції, мас. %;

y_2 – тривалість динамічного водопромокання хутрового велюру, с;

y_3 – вихід площі хутрового велюру, %.

x_1, x_2, x_3, x_4 – відповідно кодовані значення інгредієнтів композиції: АМ-полімер, ПА-емульсія, синтан НС-ДС і АМ-полімер.

Слід відзначити, що у моделі (1) має зберігатись умова нормування складу суміші:

$$\sum_{i=1}^k x_i = 1, \quad (2)$$

де k – кількість інгредієнтів.

Задачею планування експерименту було отримання максимально теоретично можливого обсягу інформації при мінімальній кількості дослідів з врахуванням умови нормування складу суміші (2), а також дотримання важливої вимоги – наявності у суміші всіх інгредієнтів. Кількість експериментальних даних суттєво скорочена шляхом використання алгоритму модифікованого методу Макліна–Андерсона, який передбачає перебирання усіх можливих комбінацій (їх понад 10^9) N теоретичних точок кандидатів¹, відібраних за алгоритмом Макліна–Андерсона [16], за умови² $\det|D| \rightarrow \min$. Для встановлення коефіцієнтів моделі (1) відбираємо мінімальну кількість експериментальних точок $n = 10$.

Синтезований оптимальний план експерименту в обмеженій ділянці (табл. 1) протягом 23,86 год. та його реалізація дала можливість отримати експериментальні дані, що характеризують вплив складу наповнювально-жирувальної композиції АМС на технологіко-фізико-хімічні властивості велюру нутрії, наведений в табл. 2.

Таблиця 2

План експерименту і технологічні властивості жированого хутрового велюру

Експериментальна точка	Інгредієнти композиції				Технологічний показник		
	x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2	y_3
1	0.210	0.140	0.440	0.210	79.2	1390	106.2
2	0.200	0.480	0.110	0.210	88.5	1260	102.4
3	0.030	0.460	0.110	0.400	73.4	1630	103.8
4	0.030	0.320	0.440	0.210	78.6	1370	101.5
5	0.030	0.140	0.440	0.390	65.3	1840	102.3
6	0.370	0.140	0.110	0.380	87.1	1565	104.3
7	0.190	0.140	0.270	0.400	89.4	1780	105.3
8	0.370	0.225	0.195	0.210	88.3	1353	104.7
9	0.030	0.480	0.195	0.295	79.1	1410	104.5
10	0.225	0.335	0.110	0.330	93.0	1560	106.1

¹ Загальна кількість комбінацій точок кандидатів N може бути оцінена за теорією імовірності: $C_N^n = \frac{N!}{n!(N-n)!}$.

² Дисперсійна матриця комбінацій точок-кандидатів $D = (F^T F)^{-1}$, де F – матриця плану експерименту розмірністю $n \times t$; t – кількість коефіцієнтів моделі.

На основі отриманих даних експериментів за згаданими вище показниками залежно від складу композиції АМС апроксимацією експериментальних даних побудована математична модель (3):

$$\begin{cases} \hat{y}_1 = -117.203490 x_1 + 1.92375297 x_2 - 8.67427379 x_3 + 64.14648706 x_4 \\ \quad + 444.6497106 x_1 x_2 + 467.4894979 x_1 x_3 + 374.8000603 x_1 x_4 + 437.5957898 x_2 x_3 \\ \quad + 87.20064507 x_2 x_4 + 146.8864982 x_3 x_4 \\ \hat{y}_2 = 402.3035289 x_1 - 254.5017831 x_2 + 494.9983683 x_3 + 3368.948843 x_4 \\ \quad + 3681.935211 x_1 x_2 + 1544.333049 x_1 x_3 - 1741.834756 x_1 x_4 + 2510.214516 x_2 x_3 \\ \quad + 761.5901424 x_2 x_4 + 700.4074566 x_3 x_4 \\ \hat{y}_3 = 62.55200238 x_1 + 69.72480492 x_2 + 74.7675243 x_3 - 5.302538861 x_4 \\ \quad + 36.20884176 x_1 x_2 + 95.63320238 x_1 x_3 + 251.4894287 x_1 x_4 + 23.05025504 x_2 x_3 \\ \quad + 264.0396943 x_2 x_4 + 230.9960487 x_3 x_4 \end{cases} \quad (3)$$

Для знаходження оптимального складу композиції АМС використано узагальнену функцію бажаності Харрінгтона (4), за якою кожний технолого-фізико-хімічний показник велюру нутрії $\hat{y}_i$ є частковою функцією бажаності технологічного показника d_i , може приймати відповідні безрозмірні значення y'_i від 0 до 1 залежно від вмісту інгредієнтів композиції. Математичний вигляд функції бажаності для трьохінгредієнтної композиції набуває вигляду:

$$D_f = \sqrt[3]{d_1 d_2 d_3}, \quad (4)$$

де $d_i = \exp[-\exp(-y'_i)]$; $y'_i = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i$.

Коефіцієнти $b_0^{(i)}$ і $b_1^{(i)}$ визначають із систем рівнянь:

$$\begin{cases} y_i^{\text{краще}} = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i^{\text{краще}} \\ y_i^{\text{гірше}} = b_0^{(i)} + b_1^{(i)} y_i^{\text{гірше}} \end{cases},$$

де $y_i^{\text{краще}}$, $y_i^{\text{гірше}}$ – відповідно краще і гірше значення показників y_i , які визначаються дослідником;

$y_i^{\text{краще}} = -\ln(-\ln d_{\text{краще}})$, $y_i^{\text{гірше}} = -\ln(-\ln d_{\text{гірше}})$ – краще і гірше значення безрозмірних

показників, що відповідають частковим функціям бажаності 0,8 і 0,2.

Найкращі компромісні значення фізико-хімічні показники y_i набувають при максимумі функції бажаності D_f і такі показники відповідають оптимальному складу $\bar{x}^{opt}$. Внаслідок проведеного дослідження встановлено оптимальний склад алкенмалеїново-акрилсинтанної композиції, мас. частин: $x_1 = 0.149$, $x_2 = 0.188$, $x_3 = 0.271$, $x_4 = 0.392$. При цьому очікувані значення показників технологічного процесу набувають значень: $y_1 = 89.7\%$, $y_2 = 1789.0\%$, $y_3 = 105.35\%$.

Отже, для наповнювання-жирування напівфабрикату хутрового велюру нутрії після видалення з нього вологи шляхом центрифугування масою 100 кг необхідно витратити алкенмалеїново-акрилсинтанної композиції оптимального складу 19.6 кг, зокрема: ПА-емульсії – 3.7, синтану НС-ДС – 5.3 і АМ-полімеру – 10.6. При цьому для активації процесу наповнювання необхідно витратити 2,92 кг алкенмалеїнового полімеру.

Оптимізований склад АМС композиції використаний при виготовленні гідрофобізованого велюру нутрії в умовах дослідного виробництва ПрАТ «Чинбар» (м. Київ, Україна) з сировини прісно-сухого консервування масою 19 кг. Епілований напівфабрикат шкурок нутрії після хромалюмінієвого подублювання обробляли композицією при співвідношенні мас робочого розчину і напівфабрикату 7 : 1.

Результати дослідження фізико-хімічних властивостей гідрофобізованого велюру нутрії наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Фізико-хімічні властивості хутрового велюру нутрії

Показник	Велюр нутрії, отриманий за технологією	
	розробленою	контрольною
Динамічне водопомокання, с	1800	25
Ефективність використання композиції, %	87,2	79,3
Вихід площі, %	105.6	100.0
Товщина шкірної тканини, мм	1.22	1.06
Межа міцності при розтягуванні, МПа	1.2	1.09
Подовження відносно при розриванні, %	62.0	59.0
Пористість шкірної тканини, %	62.0	65.0

Ефективність процесу гідрофобізації велюру нутрії з використанням композиції АМС полягає у суттєвому підвищенні тривалості динамічного водопомокання, порівняно з матеріалом, отриманим за контрольною технологією. При цьому збільшується ефективність використання композиції АМС, а також вихід площі матеріалу. Разом з тим спостерігається підвищення товщини шкірної тканини гідрофобізованого велюру нутрії і, відповідно, однорідності матеріалу за топографічними ділянками, що сприяє збільшенню

використання його площі при виготовленні виробів. Водночас за деформаційними властивостями гідрофобізований хутровий велюр нутрії переважає матеріал, отриманий за контрольним варіантом оброблення. Зокрема, за відносним подовженням шкірної тканини при навантаженні 4,9 МПа зразки розробленої технології мають повну деформацію на 27 % вищу порівняно зі зразками, отриманими за контрольною технологією (рис. 1).

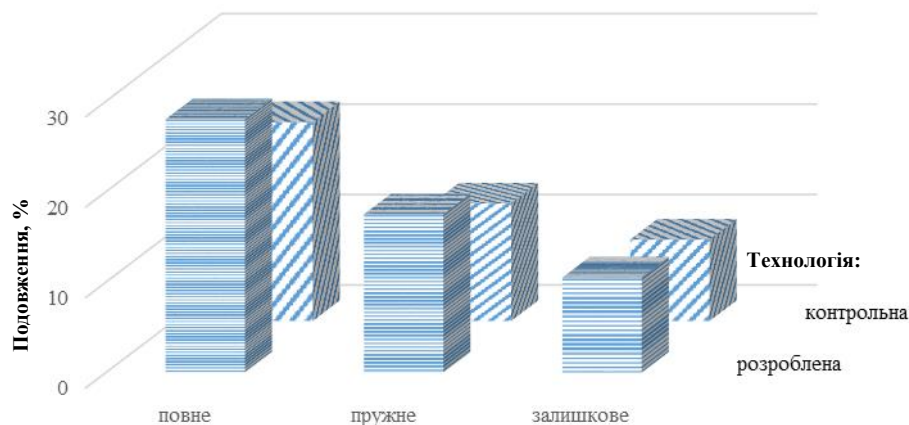


Рис. 1. Відносне подовження шкірної тканини хутрового велюру нутрії при навантаженні 4,9 МПа, %

На основі проведених досліджень в напіввиробничих умовах можна вважати, що розроблена технологія формування гідрофобізованого велюру нутрії може бути використана для розширення асортименту хутрової сировини і велюрових матеріалів для виготовлення виробів, що експлуатуються в умовах підвищеної вологості. Пропонована технологія може бути також використана без суттєвих змін існуючих технологій оброблення інших видів хутрової сировини для виробництва велюрових матеріалів з підвищеними експлуатаційними властивостями.

Висновки

1. Досліджено процес наповнювання-жирування напівфабрикату хутрового велюру з сировини нутрії шляхом комп'ютерної оптимізації складу композиції на основі алкенмалеїнового полімеру.
2. Для оптимізації складу алкенмалеїново-акрилсинтанної композиції використано модифікований метод Макліна-Андерсона з врахуванням виду математичної моделі й функцію бажаності Харрінгтона. Встановлено оптимальний склад наповнювально-жирувальної композиції, що включає, мас. %: алкенмалеїнового полімеру – 54.1, поліакрилової емульсії Melio Resin A-821 – 18.8, синтану НС-ДС – 27.1 при їх витраті відповідно, % маси віджатою напівфабрикату велюру нутрії: 10.6, 3.7 і 5.3 за співвідношення напівфабрикат / технологічний розчин 1 / 7.
3. Отримано гідрофобізований велюр нутрії за розробленою технологією з суттєвим підвищенням тривалості водопоглинання в динамічних умовах та збільшенням виходу площі матеріалу на 5.6 % порівняно з напівфабрикатом хромалюмінієвого подублювання. Використання розробленої технології забезпечує отримання однорідного еластичного матеріалу за топографічними ділянками з неоднорідної гетерогенної пористої сировини.
4. Розроблена технологія виготовлення гідрофобізованого велюру нутрії може бути ефективно використана у виробництвах виготовлення овчинно-шубних і шкіряних матеріалів підвищеної водостійкості. За комплексом властивостей отриманий гідрофобізований велюр нутрії придатний для виготовлення виробів різного призначення, що можуть експлуатуватись в екстремальних умовах.

Література

1. Бойнович Л. Б. Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства и применение / Л. Б. Бойнович, А. М. Емельяненко // Успехи химии. – 2008. – № 7. – С. 619–637.
2. Николаенко Г. Р. Современные методы гидрофобизации натуральных материалов лёгкой промышленности / Г. Р. Николаенко // Вестник Казанского технического университета. – 2014. – С. 79–83.
3. Островская А. В. Фторсодержащие аминсодержащие полимеры и их применение в кожевенном производстве / А. В. Островская, А. В. Чернова, И. И. Латфулин // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. – № 11. – С. 584–585.
4. Евсюкова Н. В. Гидрофобизация кожевенно-мехового полуфабриката фторсодержащими функциональными силанами и силксанами / Н. В. Евсюкова, И. В. Воробьёва, Л. М. Полухина и др. // Дизайн и технологии. – 2009. – № 11. – С. 68–72.
5. Низамова З. К. Оценка эффективности препаратов для поверхностной гидрофобизации спилка / З. К. Низамова, М. В. Калинин, Н. В. Евсюкова и др. // Кожевенно-обувная промышленность. – 2012. – № 2. – С. 18–19.
6. Zhaoyang L. Fluorine-containing aqueous copolymer emulsion for waterproof leather / L. Zhaoyang, F. Haojun, L. Yan., S. Bi // SLTC journal. – 2008. – V. 92, № 3. – P. 107–113.
7. Casas C. Development of nanocomposites with self-cleaning properties for textile and leather / C. Casas, J. Bou, L. Ollé, A. Bacardit // SLTC journal. – V. 102, 1. – 2018. – P. 33–41.

8. Du J. Influence of hydrophobic side chain structure on the performance of amphiphilic acrylate copolymers in leather-making / J. Du, C. Huang, B. Pen // SLTC journal. – 2016. – V. 100, 2. – P. 67–72.
9. Koizhaiganova M. Surface activation and coating on leather by dielectric barrier discharge (DBD) plasma at atmospheric pressure / M. Koizhaiganova, M. Meyer, F. Junghans, A. Aslan // SLTC journal. – 2017. – V. 101, 2. – P. 86–93.
10. Шатаева Д. Р. Получение кожевенных материалов из шкур овчины и КРС с улучшенными гигиеническими свойствами при помощи обработки ННТП и кремнийорганическими соединениями / Д. Р. Шатаева, Г. Н. Кулевцов, И. Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологич. ун-та. – 2014. – Т. 17. – № 11. – С. 86–88.
11. Данилкович А. Г. Сучасне виробництво хутра / А. Г. Данилкович, В. І. Ліщук, Л. В. Стрембuleвич. – К. : Фенікс, 2016. – 320 с.
12. Данилкович А. Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра : навч. посіб. / А. Г. Данилкович. – 2 вид., перероб. і доп. – К. : Фенікс, 2006. – 340 с.
13. Danylkovych A. H. Optimization of Leather Filling Composition Containing SiO₂ Nanoparticles / A. H. Danylkovych, O. I. Korotych // JALCA. – Vol. 114. – 2019. – P. 333–343.
14. Harrington E. C. Quality Control / E. C. Harrington. – 1965. – No 10. – 21 p.
15. Danylkovych A., Khliebnikova N. A comprehensive analysis of consumer properties of nutria velour hydrophobicized with alkenmalein-acrylsyntane composition. EEJET. 2019. 3/6 (99). 31–36. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.171063.
16. Anderson V. L., McLean R. A. Design of experiments: A Realistic Approach, Marcel Dekker: New York, Basel, Hong Kong, 1974. 363 p.

References

1. Boinovych L. B. Hydrofobnye materyaly y pokrytiya: pryntsyry sozdaniya, svoistva y pryomenenye / L. B. Boinovych, A. M. Emelianenko // Uspekhy khymyy. – 2008. – № 7. – S. 619–637.
2. Nykolaenko H. R. Sovremennyye metody hydrofobyzatsyy naturalnykh materyalov lëhkoi promyshlennosti / H. R. Nykolaenko // Vestnyk Kazanskoho tekhnicheskoho unyversyteta. – 2014. – S. 79–83.
3. Ostrovskaia A. V. Ftorsoderzhashchye aminomoly y ykh pryomenenye v kozhevennom proyzvodstve / A. V. Ostrovskaia, A. V. Chernova, Y. Y. Latfulyn // Vestnyk Kazan. tekhnol. univ. – 2010. – № 11. – S. 584–585.
4. Evsiukova N. V. Hydrofobyzatsiya kozhevenno-mekhovoho polufabrykata ftorsoderzhashchymy funktsionalny-my sylanamy y syloksanamy / N. V. Evsiukova, Y. V. Vorobëva, L. M. Polukhyna y dr. // Dyzyain y tekhnolohyy. – 2009. – № 11. – S. 68–72.
5. Nyzamova Z. K. Otsenka efektyvnosti preparatov dlia poverkhnostnoi hydrofobyzatsyy spylka / Z. K. Nyzamova, M. V. Kalynyn, N. V. Evsiukova y dr. // Kozhevenno-obuvnaia promyshlennost. – 2012. – № 2. – S. 18–19.
6. Zhaoyang L. Fluorine-containing aqueous copolymer emulsion for waterproof leather / L. Zhaoyang, F. Haojun, L. Yan., S. Bi // SLTC journal. – 2008. – V. 92, № 3. – P. 107–113.
7. Casas C. Development of nanocomposites with self-cleaning properties for textile and leather / C. Casas, J. Bou, L. Ollé, A. Bacardit // SLTC journal. – V. 102, 1. – 2018. – P. 33–41.
8. Du J. Influence of hydrophobic side chain structure on the performance of amphiphilic acrylate copolymers in leather-making / J. Du, C. Huang, B. Pen // SLTC journal. – 2016. – V. 100, 2. – P. 67–72.
9. Koizhaiganova M. Surface activation and coating on leather by dielectric barrier discharge (DBD) plasma at atmospheric pressure / M. Koizhaiganova, M. Meyer, F. Junghans, A. Aslan // SLTC journal. – 2017. – V. 101, 2. – P. 86–93.
10. Shataeva D. R. Poluchenye kozhevennykh materyalov yz shkur ovchyny y KRS s uluchshennymy hygienycheskymy svoystvamy pry pomoshchy obrabotky NNTP y kremnyiorhanycheskymy soedynenyami / D. R. Shataeva, H. N. Kulevtsov, Y. Sh. Abdullin // Vestnyk Kazanskoho tekhnolohych. univ-ta. – 2014. – T. 17. – № 11. – S. 86–88.
11. Danylkovych A. H. Suchasne vyrobnytstvo khutra / A. H. Danylkovych, V. I. Lishchuk, L. V. Strembulevych. – K. : Feniks, 2016. – 320 s.
12. Danylkovych A. H. Praktykum z khimii i tekhnolohii shkiry ta khutra : navch. posib. / A. H. Danylkovych. – 2 vyd., pererob. i dop. – K. : Feniks, 2006. – 340 s.
13. Danylkovych A. H. Optimization of Leather Filling Composition Containing SiO₂ Nanoparticles / A. H. Danylkovych, O. I. Korotych // JALCA. – Vol. 114. – 2019. – P. 333–343.
14. Harrington E. C. Quality Control / E. C. Harrington. – 1965. – No 10. – 21 r.
15. Danylkovych A., Khliebnikova N. A comprehensive analysis of consumer properties of nutria velour hydrophobicized with alkenmalein-acrylsyntane composition. EEJET. 2019. 3/6 (99). 31–36. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.171063.
16. Anderson V. L., McLean R. A. Design of experiments: A Realistic Approach, Marcel Dekker: New York, Basel, Hong Kong, 1974. 363 p.

Надійшла / Paper received: 17.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020

УДК [675.6.02:544.6]:001.895
DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-34

А. Г. ДАНИЛКОВИЧ, О. О. РОМАНЮК
Київський національний університет технологій та дизайну

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ХУТРОВОГО ВЕЛЮРУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОХІМІЧНО АКТИВОВАНОЇ ВОДИ

У роботі запропонована інноваційна технологія виготовлення хутрового велюру з овчин прісно-сухого консервування. Розроблена технологія передбачає використання електрохімічно активованої води в технологічних процесах регенерації водного балансу сировини, знежирювання, пікелювання-дублення та додублювання сполуками хрому. Запропонована технологія забезпечує інтенсифікацію відмочування сировини і більш ефективно зв'язування хромового дубителя з колагеном шкірної тканини овчин. Отриманий хутровий велюр характеризується підвищеними показниками термостійкості та фізико-механічних властивостей.

Ключові слова: овчина прісно-сухого консервування, електрохімічно активована вода, технологія, хутровий велюр, фізико-хімічні властивості.

A. DANYLKOVIYCH, O. ROMANIUK
Kyiv National University of Technologies and Design

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF MANUFACTURE OF FUR VELOUR WITH THE HELP OF ELECTROCHEMICALLY ACTIVATED WATER

The paper proposes an innovative technology for the production of fur velour from fresh-dry canned sheepskin. The developed technology involves the use of electrochemically activated water in the technological processes of soaking-degreasing, pickling-tanning and tanning with chromium compounds. The experimental halves of fresh-dry canned sheep were soaked in a mixture of catholyte / anolyte at a volume ratio of 5: 1 with an initial pH of 8,2 at LR 7 and a temperature of 25 °C for 6 hours. The second soaking at pH 8,2 and two-stage degreasing of sheepskins was carried out at pH 9,5–9,7 (catholyte medium) with the addition of nonionic surfactant (NS), respectively, 50% and 33% of the current technology. Subsequent tanning of the semi-finished product was performed on the spent anolyte, to which one hour before the completion of the pickling process was added lactic acid. The proposed technology in comparison with the current allows to perform the soaking process at a lower 5 °C ambient temperature, reduce the cost of chromium tanning agent in 2 times, alum-potassium alum in 2,3 times, NS in 3 times, to exclude from technological solutions environmentally harmful formalin and sodium carbonate, reduce the duration of soaking, tanning and tanning processes by 2,4-2,7 times. The use of the developed technology provides effective binding of chromium tanning agent with collagen of sheepskin skin, which increases the environmental friendliness of wastewater. The content of chromium tanning agent in the skin fabric of sheepskin, the content of unbound fatty substances in the skin tissue and hair does not exceed the relevant values provided by the standard. Fur velour obtained from sheepskin is characterized by heat resistance of 92 °C and physical and mechanical parameters increased by 13–16%.

Keywords: sheepskin of the fresh-dry canned, electrochemically activated water, technology, fur velour, physical and chemical properties.

Постановка проблеми. Удосконалення та розроблення інноваційних технологій виробництва хутрових матеріалів передбачає реалізацію ефективного способу проведення різноманітних колоїдно-хімічних оброблень під час перероблення природної сировини. Покращення структури сирих шкур, особливо консервованих на підготовчих етапах, підвищує ефективність усіх наступних структурних перетворень та формування високоякісного кінцевого натурального матеріалу. Використання водних розчинів із новими хімічними композиціями може мінімізувати тривалість процесу, що необхідно для захисту природної сировини від біологічного пошкодження мікроорганізмами, особливо на початковій стадії відновлення її водного балансу та структури [1]. У зв'язку з цим перспективним може бути використання водних розчинів нових хімічних реагентів, враховуючи значні їх об'єми, які передбачають багатостадійні та багатокомпонентні технології виготовлення хутрових матеріалів.

Аналіз останніх публікацій. Як нові альтернативи технологічним розчинам оброблення натуральної сировини можуть бути використані активовані водні розчини. Для їх отримання можна використовувати різні методи, такі як ультразвукове, магнітне, термічне чи електричне поля [2]. Оброблення шкур тварин та їх напівфабрикату активованими розчинами має ряд переваг перед іншими технологічними різновидами водних процедур, які використовують традиційні технологічні рішення [3]. Зокрема, активовані розчини тривалий час зберігають свої властивості, нерівноважний термодинамічний стан та високий окислювально-відновний потенціал (ОВП). Ці властивості сприяють інтенсифікації біотехнологічних процесів.

Серед активованих розчинів електрохімічно активовані (ЕХА) розчини мають потенційну перевагу як дезінфікуючі засоби в медицині та промисловості завдяки їх біоцидним властивостям, генерування з недорогих матеріалів (води та солей, таких як NaCl) та екологічної сумісності [4]. Розчини ЕХА також позначені як електролізована окиснювальна вода, змішані розчини окиснювачів та електрохімічно активована вода, виробляються електролізом розведених розчинів солі в електролітичній комірці з відокремленими катодом і анодом мембраною. Електрохімічна активація води дає дві фракції: католіт та аноліт із високоспецифічними фізико-хімічними властивостями щодо рН, ОВП, електропровідності та присутності хімічно активних радикалів і йонів. Фракції католіту і аноліту також можна комбінувати в певній пропорції для досягнення бажаних властивостей електроактивованого розчину. Відносні обсяги католіту та аноліту в даному розчині визначають його кінцевий рН.

На основі багатьох повідомлень було показано, що розчини анолітів мають широкий спектр антимікробної активності [5–8], тоді як розчини католіту характеризуються своїми очисними властивостями,

включаючи видалення біоплівки [8, 9]. Крім антибактеріальної та спорицидної активності [4] розчини ЕХА мають противірусну, фунгіцидну активність та інактивують токсини [4], зберігаючи високу біосумісність [10] та антиоксидантні властивості [11]. Відоме використання розчинів ЕХА у різних областях [4]: спеціально для лікування та профілактики інфекцій ран та пародонтозу; дезінфекції медичних виробів [10], які при недостатній дезінфекції можуть містити полімікробні біоплівки, що містять потенційно патогенні організми; для дезінфекції поверхонь [12] та харчових продуктів [13, 14], що може допомогти контролювати спалахи інфекції.

Автори роботи [7] оцінили ефективність використання гіпохлориту натрію (NaOCl) та ЕХА води при дезінфекції. При відсутності або в низьких концентраціях розчиненого органічного вуглецю розчин ЕХА води показав вищу ефективність дезінфекції в умовах інактивації кишкової палички при рН 5 і 7, утворюючи при цьому меншу кількість продуктів. Також розчин ЕХА води був більш стійким при зберіганні порівняно з розчином NaOCl . Кислий розчин ЕХА води зберігає корисну бактерицидну активність більше 12 місяців, що може значно розширити його потенційні можливості [15]. При відновленні ЕХА розчину, його хімічні компоненти будуть спонтанно переходити з термодинамічно нерівноважного стану у стійку неактивну форму. Таким чином, ЕХА розчин повільно повернеться до розведеного сольового розчину й не становить небезпеки для навколишнього середовища. Більше того, розчини ЕХА можуть бути ефективно інактивовані органічними речовинами і розглядаються як «зелені біоциди», які можуть допомогти зменшити споживання вільного хлору та замінити витрати інших токсичних хімічних реагентів.

Багато промислових процесів можуть отримати користь від використання ЕХА води. Зокрема, описаний високий потенціал католіту як екологічно чистої альтернативи пральним порошкам [16]. Окрім очисних властивостей, католіт також виявляє пластифікаційний вплив на колагенову структуру дерми шкіряних матеріалів, що призводить до зниження напруження на заключній стадії формування виробу при виготовленні взуття [17]. У результаті оброблення фракцією католіту шкірної тканини хутра та шкіри відновлюється їх пластичність [18].

Про експериментальне використання як католіту, так і аноліту при обробленні хутрової сировини повідомлялося раніше [19]. Аноліт ефективно використовувався в процесі відновлення колагенової структури сировини і вивільнення білків, полісахаридів і частково ліпідів між клітковою. Завдяки бактерицидним властивостям аноліту процес можна було проводити без додавання антисептичних речовин. На другому етапі відмочування та знежирювання сировинного біоматеріалу для більш повного видалення ліпідів використовували католіт. Використання ЕХА розчинів сприяло скороченню тривалості процесів, необхідних для отримання якісних хутрових матеріалів без застосування токсичних реагентів.

Таким чином, результати проаналізованих досліджень вказують на високі й специфічні фізико-хімічні, антисептичні та очищувальні властивості електрохімічно активованих розчинів, особливо при переробленні рослинної та тваринної сировини. Це може свідчити про перспективність їх використання для удосконалення та розробки інноваційних процесів виробництва хутрових матеріалів.

Формулювання мети дослідження. У роботі поставлено завдання: розроблення удосконалених технологічних процесів формування хутрового велюру овчини з сировини прісно-сухого консервування на основі використання електрохімічно активованої води (католіту і аноліту) та дослідження хімічних і фізико-механічних властивостей одержаного матеріалу.

Матеріали і методи дослідження. Для постановки експерименту в лабораторних умовах використано зразки напівгрубої овчини [20] прісно-сухого консервування масою $1,9 \pm 0,1$ кг з гладким неоднорідним волоссяним покривом, міцно зв'язаним з шкірною тканиною та перевагою пухового і проміжного волосу над остьовим з тониною 32–34 мкм. Зразки овчини оброблялись у партії за методом чергування половинок [21]. Як реагент на стадії відмочувально-дубильних процесів використано дві фракції електрохімічно активованої води – аноліт і католіт, які отримували у науково-дослідній лабораторії Національного університету харчових технологій на напіввиробничій установці проточного типу «Ізумруд КФТО» (РФ, м. Санкт-Петербург) потужністю 60–70 $\text{дм}^3/\text{год}$. Аноліт і католіт характеризувались рН відповідно 2,7–3,6 і 9,0–10,8 та окислювально-відновним потенціалом (ОВП) 300...1500 і –100...–700 мВ. Основні зміни рН фракцій ЕХА води відбуваються у перші дні [19], у той час як за умов зберігання у закритих ємностях без прошарку повітря водневий показник і ОВП католіту і аноліту релаксують до квазістабільного стану протягом 50 год відповідно на 3 і 16–18 % [22].

У процесі оброблення хутрових овчин, у тому числі й контрольних за технологією [23], використано низку хімічних реагентів, зокрема: поверхнево-активна речовина нейногенна (ПАРН) СПК-50 (ТУ 2488-014-22284955-99); сульфат натрію кристалічний (ГОСТ 903-76); карбонат натрію (ГОСТ 10689-75); молочна кислота (ДСТУ 4621:2006); мурашина кислота технічна (ГОСТ 1706-78); хромовий дубитель $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (ТУ 2141-033-541386-2003) основністю 35–40 %; алюмокалієвий галун $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (ГОСТ 4329-77); жирувальний матеріал Trupon DL як суміш сульфатованих і сульфітованих синтетичних та натуральних жирів аніонного типу з вмістом активної речовини 70 %, рН 10 % емульсії 7,5 виробництва фірми “Trumpler” (Німеччина).

Значення рН технологічних розчинів визначали за допомогою приладу рН-340 (Беларусь, м. Гомель) з скляним хлоркалієвим електродом, ОВП ЕХА води – потенціометричним методом з використанням платинового і хлорсрібного електродів, вміст води у зразках визначали гравіметрично. Для досліджень поглинання води три зразки на одну групу були вирізані з правої та лівої напівшкур після їх міздріння у

вигляді симетричних смужок. Зневолошені ручним способом за допомогою бритви зразки зважували на вагах (AXIS, AD200, Польща). Після того, як всі зразки були промиті одночасно, їх обережно, але ретельно обсушували фільтрувальним папером для видалення поверхневої води і знову зважували. Цю процедуру повторювали через 1, 2, 3, 4, 6, 8 та 16 год. Вміст води у зразках розраховували за формулою:

$$P_e = \frac{100(m_1 - m_2)}{m_2},$$

де P_e – регенерована вода, %; m_1 і m_2 – маса наважки зразка до і після висихання, г.

Для визначення сухої маси наважки зразки масою 2–2,5 г сушили при температурі 175 ± 5 °C протягом 1 год, витримували в ексікаторі при кімнатній температурі протягом 30 хв та зважували.

Хімічні та фізико-механічні властивості отриманих зразків велюру досліджували після попереднього їх кондиціонування ексікаторним методом при температурі 20 ± 2 °C та відносній вологості повітря 65 ± 5 %.

Термостійкість шкірної тканини до скорочення характеризували температурою її зварювання ($T_{зв}$), яку вимірювали при поступовому нагріванні зразка у воді зі швидкістю 2–3 °C/хв. Перед вимірюваннями зразки замочували у воді протягом 4 год при температурі 20 ± 1 °C. Вміст дубильних сполук хрому визначали як масову частку оксиду хрому (III) йодометричним титруванням. Незв'язані жирові речовини (ЖРН) у зразках хутрового велюру овчини визначали в екстракційному апараті Зайченка. Для цього наважку подрібненого зразка масою 5 г в паперовій оболонці поміщали в екстрактор і екстрагували ЖРН тетрахлорметаном протягом 1,5 год в таровану колбу. Після випаровування розчинника у вакуумі екстраговані ЖРН сушили в шафі при температурі 128–130 °C. Охолоджену колбу в ексікаторі з висушеними ЖРН зважували і обчислювали масову частку сухого залишку [21].

Механічні властивості (навантаження при розриванні та подовження при деформуванні) вимірювали за допомогою машини для випробування на розтягування РМ-250М зі швидкістю деформування 90 мм/хв з використанням спеціального затискача для випробування цілих шкур. Початкова відстань при ширині 10 мм між затисками становила 50 мм.

Результати дослідження та їх обговорення. Проведені експериментальні дослідження свідчать про суттєвий вплив співвідношення фракцій ЕХА води католіт/аноліт на регенерацію водного балансу шкірної тканини овчини прісно-сухого консервування. При цьому експериментально встановлено найефективніший вплив на процес водопоглинання технологічного розчину ЕХА води при співвідношенні католіт/аноліт як 5:1, яке забезпечує досягнення рівноважного стану протягом 5–6 год (табл. 1) при нижчій на 5 °C температурі середовища. Використання аноліту в суміші не тільки знижує початковий рН технологічного розчину до 8,2, але й пригнічує розвиток мікрофлори. Прискорення процесу водопоглинання шкірною тканиною овчини можна пояснити нерівноважним станом ЕХА води, наявністю молекул і хімічно активних радикалів та йонів декластеризованої води, високим ОВП. Розроблена технологія виготовлення хутрового велюру овчин з використанням ЕХА води реалізована в умовах науково-дослідної лабораторії кафедри біотехнології, шкіри та хутра КНУТД.

Таблиця 1

Регенерація водного балансу шкірної тканини овчини в середовищі електрохімічно активованої води

Тривалість регенерації, годин	Вода поглинена зразком, %, в середовищі	
	католіт/аноліт при співвідношенні 5:1	за діючою технологією
1	124	113
2	149	135
3	162	147
4	167	154
6	170	163
8	172	167
16	—	174

Активовану воду використовували на стадії відмочування-знежирювання, пікелювання-дублення та додублювання сполуками хрому (див. табл. 2). Дослідні половинки овчин прісно-сухого консервування попередньо розмочували у пластиковій ємності в суміші католіт/аноліт у співвідношенні 5:1 з початковим рН 8,2, через 2 год перевантажували у баркас об'ємом 33 дм³ при РК 7 і процес продовжували ще 4 год при температурі 25 °C при перемішуванні по 10 хв кожної години. Контрольні половинки овчин оброблялись в присутності формаліну, сульфату натрію і ПАРН при температурі 30 °C протягом 13 год. Друге відмочування овчин відрізнялось від першого відсутністю сульфату натрію і зменшенням тривалості процесу.

Процес знежирювання дослідних половинок овчин проводили у дві стадії з використанням католіту при рН 9,5–9,7 та додаванням 2 г/дм³ ПАРН. Контрольна технологія відрізнялась збільшенням витрат ПАРН у три рази та вмістом у технологічному розчині формаліну і карбонату натрію.

Наступне дублення отриманого напівфабрикату проводили на відпрацьованому аноліті, в який за одну годину до завершення процесу пікелювання додавали молочну кислоту. Для дублення овчин використано хромовий дубитель з витратою 0,7 г/дм³ у перерахунку на оксид хрому (III) при рН 3,5–3,6 з додаванням 1,5 г/дм³ жирувального матеріалу Trupon DL. Дублення контрольних овчин проведено на новому розчині з більшою у 2,0 рази витратою хромового дубителя і електролітостійкого жирувального матеріалу.

Таблиця 2

**Технологія виготовлення хутрового велюру з овчин прісно-сухого консервування
з використанням електрохімічно активованої води**

№ 3/п	Процес, операція	Реагент, г/дм ³ , його витрати та режим оброблення
1	Відмочування 1	Вода, % 1000 Формалін 40 % (мл/дм ³) – / 0,5 ПАРН – / 1,0 Сульфід натрію (кристалічний) – / 0,5 У баркас завантажують овчини, заливають католіт / аноліт у співвідношенні 5:1 чи неактивовану воду відповідно для дослідного і контрольного варіантів оброблення при температурах, °С: 25 і 30. Перемішування виконувати через 3 і 4 год після завантаження овчин, далі по 10 хв кожної години зі швидкістю 3–4 хв ⁻¹ . Тривалість процесу відповідно 6 і 16 год
2	Віджимання	Віджимають волосаний покрив на міздрильній машині ММ-2М з тупими ножами при подаванні води 40 °С
3	Відмочування 2	Вода, % 700 Формалін 40 % (мл/дм ³) – / 0,5 ПАРН 0,5 / 1,0 Перемішування на початку процесу 30 хв, далі по 10 хв кожної години. Тривалість відповідно 3 і 8 год
4	Знежирювання 1	Вода, % 1000 ПАРН 2,0 / 6,0 Карбонат натрію – / 0,5 Формалін 40 % (мл/дм ³) – / 0,5 Температура процесу 42 °С, тривалість 30–45 хв.
6	Віджимання	Аналогічно позиції 2; потім 30 хв у центрифугі зі швидкістю 1000 хв ⁻¹ .
7	Міздріння	Підшкірну клітковину видаляли на машині ММ-2М
8	Знежирювання 2	Вода, % 700 ПАРН 2,0 / 6,0 Формалін 40 % (мл/дм ³) – / 0,5 Аналогічно позиції 4.
9	Промивання	Вода, % 700 Виконують двічі при температурі 38 °С протягом 30 хв з наступним протягом 2 год стіканням у касеті. Перемішування неперервне
10	Пікелювання	Вода, % 700 Хлорид натрію – / 40,0 Молочна кислота 1,2 / – Мурашина кислота – / 5,0 У баркас з овчинами наливають аноліт з рН 3 або неактивовану воду при температурі 35–37 °С з додаванням кислоти відповідно для дослідного і контрольного варіантів через 4,0 год та 10 хв. Перемішування на початку процесу 30 хв і додавання матеріалів, далі по 20 хв кожної години. Тривалість відповідно 5,5 і 11 год з наступним пролежуванням протягом 10 год
11	Дублення-жирування	Вода, % – / 700 Хлорид натрію – / 40,0 Хромовий дубитель (основність 35–40 %) 0,7 / 1,5 Cr ₂ O ₃ Електролітостійкий жир 3,0 / 3,0 Карбонат натрію 0,2 / 0,5 Коригують рН відпрацьованого розчину карбонатом натрію після пікелювання дослідних овчин до 3,5–3,6, доводять температуру розчину до 35–37 °С, додають жирову емульсію і завантажують дослідні овчини. Через 2,5 год перевіряють T _{зв} шкірної тканини овчин, яка має бути 73 °С. Якщо T _{зв} нижче, то знову коригують рН і продовжують процес ще одну годину. Перемішування на початку процесу 1 год, далі по 20 хв кожної години. Контрольні овчини обробляють за діючою технологією протягом 6–8 год
12	Додублювання	Вода, % 700 / 700 Хлорид натрію 20,0 / 20,0 Хромовий дубитель (основність 35–40 %) 2,0 / 4,0 Cr ₂ O ₃ Алюмокалієвий галун 3,0 / 7,0 Карбонат натрію 0,2 / 0,5 У баркас наливають аноліт 40–42 °С з рН 3,5, додають хлорид натрію, хромовий дубитель, перевіряють їх вміст і завантажують овчини. Через 1 год коригують рН розчину до 3,5 і заливають розчин алюмокалієвого галуну. Через 2,5 год T _{зв} має бути 90 °С. Якщо T _{зв} нижче, доводять рН до 3,5 і продовжують дублення ще 1 год. Перемішування системи як при дубленні. Тривалість процесу за діючою технологією до 6 год, пролежування – не менше 6 години
Завершальні сушильно-зволожувально-деформаційні та оздоблювальні процеси й операції виконують за діючою технологією		

Примітка. У чисельнику і знаменнику наводяться реагенти відповідно для дослідного і контрольного процесів

Додублювання овчин проводили хромовим дубителем із витратою 2 г/дм³ у перерахунку на оксид хрому (III) після їх пролежування протягом 12 год і вологого шліфування на міздрильній машині та додаванням через одну годину алюмокалієвого галуну з витратою 3 г/дм³. Процес додублювання тривав 2,5 год до досягнення температури зварювання шкірної тканини овчин 90 °С [24], що відповідає ТУ 17-20-38-89 «Велюр меховий. Технические условия». За діючою технологією витрати хромового дубителя і алюмокалієвого галуну були збільшеними відповідно у 2 і 2,3 рази, а тривалість процесу у 2,4 рази.

Ворсову поверхню овчин, отримували шляхом шліфування абразивною шкуркою зернистістю № 4 на ПрАТ «Чинбар». Потім виконувалось пролежування напівфабрикату овчин протягом не менше 12 год, їх

розбивання на вібраційній витягувально-м'якшильній машині «Молліса», підсушування при температурі 40–45 °С протягом 1,0–1,5 год у рамній сушарці до відносної вологості 12–15 % і укладання ворсу жорсткою щіткою в напрямку від огузку до воротка. Досліджені хімічні та фізико-механічні властивості отриманого велюру товщиною 1,2 мм наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Фізико-хімічні властивості хутрового велюру овчини

Показник	Велюр, отриманий за технологією		Овчина хутрова ГОСТ 4661	Велюр хутровий ТУ 17-20-38
	дослідною	діючою		
Температура зварювання, °С	92	91	не нижче 70	не нижче 90
Масова частка ¹ , %, вологи	13,7	13,4	14,0	14,0
– Сг ₂ О ₃ у шкірній тканині ²	2,69	2,87	не більше 3,0	–
– у відпрацьованому розчині, г/дм ³	0,78	2,37	–	–
– ЖРН у шкірній тканині	14,71	13,97	10,0–20,0	15,0
– ЖРН у волоссяному покриві	1,23	1,86	не більше 2,0	не більше 2,0
pH водної витяжки шкірної тканини	5,5	5,9	4,0–7,5	–
Навантаження при розриванні цілої овчини площею понад 40 дм ² , Н	226	204	не менше 200	–
Подовження повне цілих овчин при напруженні 9,8 МПа, %	35	32	не менше 30	–

Примітка. ¹В перерахунку на абсолютно суху речовину;

²Показник відповідно до ГОСТ 4661 вибрано для овчин, фарбованих кислотними барвниками з підвищеною термостійкістю.

Згідно з наведеними даними в таблиці 3 хімічні показники велюру, отриманого з використанням ЕХА води і виробленого за діючою технологією, відповідають вимогам стандартів для хутрового велюру [25] та для хутрової овчини [26], тоді як фізико-механічні властивості хутрового велюру мають підвищені показники. Зокрема, зразки хутрового велюру отримані за дослідною технологією з використанням електрохімічно активованої води, проявляють здатність витримувати на 13 % більші навантаження при розриванні, а їх повне подовження при напруженні 9,8 МПа збільшується на 16 %.

Висновки. Розроблена інноваційна технологія виготовлення хутрового велюру з овчини прісно-сухого консервування з використанням електрохімічно активованої води – фракцій католіту і аноліту. Встановлено, що суміш католіту і аноліту в об'ємному співвідношенні 5:1 має рН близьке до нейтрального середовища і бактерицидну дію на мікрофлору колагенвмісної сировини, що забезпечує ефективну регенерацію водного балансу шкірної тканини овчин без використання антисептичних екологічно шкідливих речовин при відмочуванні. На стадії знежирювання ефективним є використання католіту, який має високі очисні властивості та не ослаблює зв'язування волоссяного покриву зі шкірною тканиною без додавання формаліну, передбаченого діючою технологією.

Застосування аноліту на стадії пікелювання-дублення та подублювання сприяє ефективному зв'язуванню хромового дубителя з колагеном шкірної тканини овчин, масова частка оксиду хрому (III) в якій майже рівна значенню, одержаному для шкірної тканини овчин, вироблених за діючою технологією. При цьому спостерігається скорочення тривалості процесу при зменшенні концентрації оксиду хрому (III) у 2 рази у вихідному розчині та у 3 рази у відпрацьованому розчині, що підвищує екологічність стічних вод.

Отриманий хутровий велюр за розробленою технологією характеризується фізико-механічними показниками на 13–16 % вищими порівняно з велюром, отриманим за діючою технологією, і відповідає вимогам ГОСТ 4661-76 «Овчина меховая выделанная. Технические условия» та ТУ 17-20-38-89 «Велюр меховой. Технические условия».

Література

1. A New Defect on Leather: Microbial Bio-Film / B. H. Cadirci, H. Ozgunay, C. Vural, O. Yilmaz // J. Am. Leather Chem. Assoc. – 2010. – V. 105. – P. 129–134.
2. Теоретические основы электрохимической обработки водных растворов / Г. А. Плутахин, Аидер Мохаммед, А. Г. Коцаев, Е. Н. Гнатко // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 92 (08). – С. 1–25.
3. Shirahata S. Advanced research on the health benefit of reduced water / S. Shirahata, T. Hamasaki, K. Teruya // Trends Food Sci. Technol. – 2012. – V. 23, February, No. 2. – P. 124–131.
4. Thorn R. M. S. Electrochemically Activated Solutions: Evidence for Antimicrobial Efficacy and Applications in Healthcare Environments / R. M. S. Thorn, S. W. H. Lee, G. M. Robinson, J. Greenman, D.M. Reynolds // Eur. J. Clin. Microbiol. – 2012. – V. 31. – P. 641–653.
5. Swan J. S. Elimination of Biofilm and Microbial Contamination Reservoirs in Hospital Washbasin U-Bends by Automated Cleaning and Disinfection with Electrochemically Activated Solutions / J. S. Swan, E. C. Deasy, M.A. Boyle, R. J. Russell, M. J. O'Donnell, D. C. Coleman // J. Hosp. Infect. – 2016. – V. 94. – No 2. – P. 169–174.
6. Akbulut M. B. In Vitro Antimicrobial Activity of Different Electrochemically Activated Solutions on Enterococcus Faecalis / M. B. Akbulut, A. Unverdi Eldeniz // Eur. Oral Res. – 2019. – V. 53. – No 1. – P. 44–50.
7. Pogorelov A. G. Disintegration of Bacterial Film by Electrochemically Activated Water Solution / A. G. Pogorelov, O. A. Suvorov, A. L. Kuznetsov, A. I. Panait, M. A. Pogorelova, L. G. Ipatova // Bull. Exp. Biol. Med. – 2018. – V. 165. – No 4. – P. 493–496.

8. Wilsmann D. E. Electrochemically-Activated Water Presents Bactericidal Effect against Salmonella Heidelberg Isolated from Poultry Origin / D. E. Wilsmann, D. Carvalho, G. Z. Chitolina, K. A. Borges, T. Q. Furian, A. C. Martins, B. Webber, do V. P. Nascimento // *Foodborne Pathog. Dis.* – 2019. – P. 1–6.
9. Pogorelova M. A. Does Electrochemically Reduced Water Remove Bacterial Film? / M. A. Pogorelova, A.L. Kuznetsov, O. A. Suvorov // *Int. J. Pharm. Res. Allied Sci.* – 2018. – V. 7. – No 2. – P. 139–142.
10. Role of Electrochemically Activated Solution in Asepsis in Osteoblasts and Chondrocytes in Vitro / N.S.D. Michel, J. R. J. Paletta, M. Kerwart, A. Skwara // *J. Investig. Surg.* – 2016. – V. 29. – No 3. – P. 157–166.
11. Suppressive Effects of Electrochemically Reduced Water on Matrix Metalloproteinase-2 Activities and in Vitro Invasion of Human Fibrosarcoma HT1080 Cells. In Regeneration of raw hide water balance by electrochemically activated water Cytotechnology / T. Kinjo, J. Ye, H. Yan, T. Hamasaki, H. Nakanishi, K. Toh, N. Nakamichi, S. Kabayama, K. Teruya, S. Shirahata // *Springer Netherlands.* – 2012. – V. 64. – P. 357–371.
12. Electrochemically Activated Water as an Alternative to Chlorine for Decentralized Disinfection / K. Ghebremichael, E. Muchelemba, B. Petrushevski, G. Amy // *J. Water Supply Res. Technology-Aqua.* – 2011. – V. 60. – No 4. – P. 210–218.
13. The antimicrobial activity of neutral electrolyzed water against germs and fungi from feedstuffs, eggshells and laying hen house / I. Surdu, D. Vătuuiu, Ș. Jurcoane, M. Olteanu, and I. Vătuuiu // *Romanian Biotechnological Letters.* – 2018. – Vol. 23, No. 3. – P. 13607–13614. – URL : <https://www.e-repository.org/rbl/vol.23/iss.3/7.pdf>.
14. Thorn R. M. S. Assessing the Antimicrobial Potential of Aerosolised Electrochemically Activated Solutions (ECAS) for Reducing the Microbial Bio-Burden on Fresh Food Produce Held under Cooled or Cold Storage Conditions / R. M. S. Thorn, J. Pendred, D. M. Reynolds // *Food Microbiol.* – 2017. – V. 68. – P. 41–50.
15. Robinson, G. The Effect of Long-Term Storage on the Physiochemical and Bactericidal Properties of Electrochemically Activated Solutions / G. Robinson, R. Thorn, D. Reynolds // *Int. J. Mol. Sci.* – 2013. – V. 14. – No 1. – P. 457–445.
16. Cronje N. Catholyte as an Environmentally Friendly Detergent: Effect on the Colourfastness of Black Dyed Textiles / N. Cronje, H. J. H. Steyn, R. Schall // *J. Text. Inst.* – 2019. – URL : <https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1703489>.
17. Луцик Р. В. Возможности использования электроактивированной воды в технологических процессах взуттового производства / Р. В. Луцик, О. А. Матвиенко, О. В. Бовсунувський // *Вісник КНУТД.* – 2005. – № 2. – С. 53–58.
18. Зорина Е. Ф. Влияние природы дубителей и воды на пластические свойства кожаной ткани меха и кожи / Е. Ф. Зорина, Г. М. Зелева, З. Е. Нагорная // *Омский научный вестник.* – 2002. – № 19. – С. 140–141.
19. Danylkovych A. G. Use of electrochemically activated aqueous solutions in the manufacture of fur materials / A. G. Danylkovych, V. I. Lishchuk, O. O. Romaniuk // *Springerplus.* – 2016. – Vol. 5, December, No. 1. – P. 1–11. – DOI: 10.1186/s40064-016-1784-6.
20. Овчини невичинені. Технічні умови : ДСТУ 8359:2015. – [Чинний від 2017-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2015. – (Національні стандарти України).
21. Данилкович А. Г. Аналитический контроль в производстве кожи и меха / А. Г. Данилкович, В. И. Чурсин. – Москва : Научно-издат. центр «ИНФРА-М», 2015. – 176 с.
22. Бордун І. М. Вплив умов зберігання на процеси релаксації у електрохімічно активованій воді / І. М. Бордун, В. В. Пташник // *Всходно-Европейський журнал передових технологій.* – 2012. – № 1/6(55). – С. 27–30.
23. Данилкович А. Г. Технологія і матеріали виробництва шкіри / Данилкович А. Г., Мокроусова О. Р., Охмат О. А. ; під ред. А. Г. Данилковича. – Київ : Фенікс, 2009. – 580 с.
24. Технологія обробки хутрового велюру. В кн. : Сучасне виробництво хутра / [за ред. А.Г. Данилковича]. – Київ : Фенікс, 2015. – С. 151–162.
25. Велюр меховой. Технические условия : ТУ 17-20-38-89. – [Действующий от 1989-10-04]. – Харьков : Харьковский центр стандартизации и метрологии, 1989. – 6 с.
26. Овчина меховая выделанная. Технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ 4661-76. – [Действующий от 1977-01-01]. Москва : ИПК издательство стандартов, 2002. – 11 с. – (Межгосударственный стандарт). – Режим доступа : <http://vsegest.com/Catalog/15/15890.shtml>.

References

1. A New Defect on Leather: Microbial Bio-Film / B. H. Cadirci, H. Ozgunay, C. Vural, O. Yilmaz // *J. Am. Leather Chem. Assoc.* – 2010. – V. 105. – R. 129–134.
2. Teoreticheskie osnovy elektrokhimicheskoy obrabotki vodnyh rastvorov / G. A. Plutahin, Aider Mohammed, A. G. Koshaev, E. N. Gnatcho // *Nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* – 2013. – № 92 (08). – S. 1–25.
3. Shirahata S. Advanced research on the health benefit of reduced water / S. Shirahata, T. Hamasaki, K. Teruya // *Trends Food Sci. Technol.* – 2012. – V. 23, February, No. 2. – P. 124–131.
4. Thorn R. M. S. Electrochemically Activated Solutions: Evidence for Antimicrobial Efficacy and Applications in Healthcare Environments / R. M. S. Thorn, S. W. H. Lee, G. M. Robinson, J. Greenman, D.M. Reynolds // *Eur. J. Clin. Microbiol.* – 2012. – V. 31. – R. 641–653.
5. Swan J. S. Elimination of Biofilm and Microbial Contamination Reservoirs in Hospital Washbasin U-Bends by Automated Cleaning and Disinfection with Electrochemically Activated Solutions / J. S. Swan, E. C. Deasy, M.A. Boyle, R. J. Russell, M. J. O'Donnell, D. C. Coleman // *J. Hosp. Infect.* – 2016. – V. 94. – No 2. – P. 169–174.

6. Akbulut M. B. In Vitro Antimicrobial Activity of Different Electrochemically Activated Solutions on *Enterococcus Faecalis* / M. B. Akbulut, A. Unverdi Eldeniz // *Eur. Oral Res.* – 2019. – V. 53. – No 1. – P. 44–50.
7. Pogorelov A. G. Disintegration of Bacterial Film by Electrochemically Activated Water Solution / A. G. Pogorelov, O. A. Suvorov, A. L. Kuznetsov, A. I. Panait, M. A. Pogorelova, L. G. Ipatova // *Bull. Exp. Biol. Med.* – 2018. – V. 165. – No 4. – P. 493–496.
8. Wilsmann D. E. Electrochemically-Activated Water Presents Bactericidal Effect against *Salmonella Heidelberg* Isolated from Poultry Origin / D. E. Wilsmann, D. Carvalho, G. Z. Chitolina, K. A. Borges, T. Q. Furian, A. C. Martins, B. Webber, do V. P. Nascimento // *Foodborne Pathog. Dis.* – 2019. – P. 1–6.
9. Pogorelova M. A. Does Electrochemically Reduced Water Remove Bacterial Film? / M. A. Pogorelova, A.L. Kuznetsov, O. A. Suvorov // *Int. J. Pharm. Res. Allied Sci.* – 2018. – V. 7. – No 2. – P. 139–142.
10. Role of Electrochemically Activated Solution in Asepsis in Osteoblasts and Chondrocytes in Vitro / N.S.D. Michel, J. R. J. Paletta, M. Kerwart, A. Skwara // *J. Investig. Surg.* – 2016. – V. 29. – No 3. – R. 157–166.
11. Suppressive Effects of Electrochemically Reduced Water on Matrix Metalloproteinase-2 Activities and in Vitro Invasion of Human Fibrosarcoma HT1080 Cells. In Regeneration of raw hide water balance by electrochemically activated water Cytotechnology / T. Kinjo, J. Ye, H. Yan, T. Hamasaki, H. Nakamishi, K. Toh, N. Nakamichi, S. Kabayama, K. Teruya, S. Shirahata // *Springer Netherlands.* – 2012. – V. 64. – P. 357–371.
12. Electrochemically Activated Water as an Alternative to Chlorine for Decentralized Disinfection / K. Ghebremichael, E. Muchelemba, B. Petrusevski, G. Amy // *J. Water Supply Res. Technology-Aqua.* – 2011. – V. 60. – No 4. – P. 210–218.
13. The antimicrobial activity of neutral electrolyzed water against germs and fungi from feedstuffs, eggshells and laying hen house / I. Surdu, D. Vătușiu, Ș. Jurcoane, M. Olteanu, and I. Vătușiu // *Romanian Biotechnological Letters.* – 2018. – Vol. 23, No. 3. – R. 13607–13614. – URL : <https://www.e-repository.org/rbl/vol.23/iss.3/7.pdf>.
14. Thorn R. M. S. Assessing the Antimicrobial Potential of Aerosolised Electrochemically Activated Solutions (ECAS) for Reducing the Microbial Bio-Burden on Fresh Food Produce Held under Cooled or Cold Storage Conditions / R. M. S. Thorn, J. Pendred, D. M. Reynolds // *Food Microbiol.* – 2017. – V. 68. – P. 41–50.
15. Robinson, G. The Effect of Long-Term Storage on the Physiochemical and Bactericidal Properties of Electrochemically Activated Solutions / G. Robinson, R. Thorn, D. Reynolds // *Int. J. Mol. Sci.* – 2013. – V. 14. – No 1. – P. 457–445.
16. Cronje N. Catholyte as an Environmentally Friendly Detergent: Effect on the Colourfastness of Black Dyed Textiles / N. Cronje, H. J. H. Steyn, R. Schall // *J. Text. Inst.* – 2019. – URL : <https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1703489>.
17. Lutsyk R. V. Mozhlyvosti vykorystannia elektroaktyvovanoi vody v tekhnolohichnykh protsesakh vztutivoho vyrobnytstva / R. V. Lutsyk, O. A. Matviienko, O. V. Bovsunovskiy // *Visnyk KNUTD.* – 2005. – № 2. – S. 53–58.
18. Zorina E. F. Vliyanie prirody dubitelej i vody na plasticheskie svoystva kozhevoj tkani meha i kozhi / E. F. Zorina, G. M. Zeleva, Z. E. Nagornaya // *Omskij nauchnyj vestnik.* – 2002. – № 19. – S. 140–141.
19. Danylkovych A. G. Use of electrochemically activated aqueous solutions in the manufacture of fur materials / A. G. Danylkovych, V. I. Lishchuk, O. O. Romaniuk // *Springerplus.* – 2016. – Vol. 5, December, No. 1. – P. 1–11. – DOI: 10.1186/s40064-016-1784-6.
20. Ovchynny nevychnyeni. Tekhnichni umovy : DSTU 8359:2015. – Chynnyi vid 2017-07-01. – K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2015. – (Natsionalni standarty Ukrainy).
21. Danilkovich A. G. Analiticheskij kontrol v proizvodstve kozhi i meha / A. G. Danilkovich, V. I. Chursin. – Moskva : Nauchno-izdat. centr «NFRA-M», 2015. – 176 s.
22. Bordun I. M. Vplyv umov zberihannia na protsesy relaksatsii u elektrokhimichno aktyvovanii vodi / I. M. Bordun, V. V. Ptashnyk // *Vstochno-Evropejskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii.* – 2012. – № 1/6(55). – S. 27–30.
23. Danylkovych A. H. Tekhnolohiia i materialy vyrobnytstva shkiry / Danylkovych A. H., Mokrousova O. R., Okhmat O. A. ; pid red. A. H. Danylkovycha. – Kyiv : Feniks, 2009. – 580 s.
24. Tekhnolohiia obrobky khutrovoho veliuru. V kn. : Suchasne vyrobnytstvo khutra / [za red. A.H. Danylkovycha]. – Kyiv : Feniks, 2015. – S. 151–162.
25. Velyur mehovoj. Tehnicheskie usloviya : TU 17-20-38-89. – Dejstvuyushij ot 1989-10-04. – Harkov : Harkovskij centr standartizacii i metrologii, 1989. – 6 s.
26. Ovchina mehovaya vydellannaya. Tehnicheskie usloviya [Elektronnyj resurs] : GOST 4661-76. – Dejstvuyushij ot 1977-01-01. Moskva : IPK izdatelstvo standartov, 2002. – 11 s. – (Mezhgosudarstvennyj standart). – Rezhim dostupa : <http://vsegost.com/Catalog/15/15890.shtml>.

Надійшла / Paper received: 22.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 02.06.2020

УДК 677.075.44.017:539.3
DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-35

Г. В. ЗУБРИЦЬКА, Т. В. ЄЛІНА, Л. Є. ГАЛАВСЬКА
Київський національний університет технологій та дизайну

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ОДНООСНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ТРИКОТАЖУ ПЕРЕПЛЕТЕННЯ ЛАСТИК 2+2 ПІД ДІЄЮ РОЗТЯГУЮЧОГО ЗУСИЛЛЯ

У статті представлено результати дослідження процесу одноосної деформації трикотажу переплетення ластик 2+2 під дією розтягуючого зусилля, прикладеного вздовж лінії петельного ряду, з метою отримання вихідних даних для побудови інформаційної моделі переплетення. Дослідні зразки трикотажу вироблено з поліакрилонітрильної (ПАН) пряжі лінійної густини 31х2 текс на плосков'язальній машині типу ПВРК 10-го класу. Структурні характеристики визначено у відповідності до існуючих стандартизованих методик. Однак стандартизовані методики дослідження показників розтяжності та пружності трикотажу не передбачають отримання певних характеристик, необхідних для побудови тривимірної комп'ютерної моделі трикотажу, придатної для проведення віртуальних експериментів. У ході роботи встановлено набір геометричних характеристик трикотажу, які рекомендуються використовувати у якості вихідних даних для моделювання деформації розтягу трикотажу ластичних переплетень. Описано алгоритм фіксації геометричних характеристик трикотажу в окремих станах процесу його розтягу вздовж лінії петельного ряду. Шляхом фіксації в затискачах релаксметра типу «стійка» та поетапного збільшення величини розтягуючого зусилля від 0 до 120 сН реалізовано експеримент з розтягу зразка трикотажу вздовж лінії петельного ряду. На кожному етапі зусилля розтягу збільшувалось на 20 сН та виконувалась фотофіксація структури трикотажу за допомогою цифрового USB мікроскопа MM-22885X-BN з використанням спеціалізованої програми для роботи із цифровими зображеннями Shiny Vision та цифрової камери. З метою визначення геометричних характеристик трикотажу отримані фотозображення, відкалібровані та оброблені у графічному редакторі Autodesk AutoCAD. На кожному етапі прикладання розтягуючих зусиль за допомогою товщиноміра без прикладання стискаючого зусилля встановлено товщину трикотажу. Дані, отримані у результаті реалізації експерименту, є достатніми для формування інформаційної моделі трикотажу переплетення ластик 2+2 та побудови тривимірної параметричної моделі з визначеного виду сировини у середовищі тривимірного моделювання.

Ключові слова: ластик 2+2, деформація розтягу по ширині, інформаційна модель, параметри структури.

H. ZUBRYTSKA, T. YELINA, L. HALAVSKA
Kyiv National University of Technologies and Design

STUDY OF THE PROCESS OF UNIAXIAL DEFORMATION OF 2 + 2 RIB FABRICS UNDER THE ACTION OF TENSIONING FORCE

This article presents the results of the study of the process of uniaxial deformation of 2+2 rib fabrics under the action of the tensile force applied along the course wise direction, in order to obtain the input data for an information model of knitted structure creating. Samples of 2+2 rib structure are made of PAN yarn of linear density 31x2 tex on a flat knitting machine type PVRK 10th class. Structural characteristics are determined in accordance with existing standardized methods. However, standardized methods for studying the tensile and elasticity of knitwear do not provide the specific characteristics needed to build a three-dimensional computer model of knitwear, suitable for virtual experiments. During the study a set of geometrical characteristics of knitwear was established, which are recommended to be used as input data for modelling the tensile deformation of knitwear of rib knits. An algorithm for registration of the geometric characteristics of knitwear in certain states of the process of its stretching along the course wise direction is described. By hanging in the clamps of the relaxometer "rack" type and a gradual increase of the tensile force value from 0 to 120 cN, an experiment on the tension of the knitted sample along the course wise direction was realised. At each stage, the tensile force was increased by 20 cN and photo-fixation of the knitted structure was performed using a digital USB microscope MM-22885X-BN using a specialized program for working with digital images Shiny Vision and a digital camera. In order to determine the geometric characteristics of the jersey, the obtained images were calibrated and processed in the graphic editor Autodesk AutoCAD. At each stage of application of tensile forces by means of the tester of thickness of a covering without application of force of compression establish thickness of jersey. The data obtained as a result of the experiment are sufficient for the formation of an information model of 2+2 rib fabrics and to build a three-dimensional parametric model from a certain type of raw material in a three-dimensional modelling environment.

Keywords: 2+2 rib fabrics, width tensile deformation, information model, structure parameters.

Вступ. Одним з головних чинників вибору того чи іншого елементу одягу є рівень його комфортності та зручність у носінні. Завдяки достатній розтяжності та пружності трикотаж часто використовують для виготовлення виробів прилеглої силуетної форми, у тому числі одягу спортивного та побутового призначення. У процесі експлуатації окремі ділянки таких виробів знаходяться у деформованому стані. Особливістю трикотажу як текстильного матеріалу є те, що його деформування відбувається більшою мірою за рахунок перерозподілу ниток у структурі полотна. Перерозподіл ниток призводить до зміни розмірів та форми елементів структури трикотажу і, як наслідок, до ситуативної зміни його фізико-механічних та споживних властивостей таких як повітропроникність, теплопровідність, тиск одягу на тіло людини. Сучасні програмні засоби дозволяють аналізувати фізико-механічні процеси, що відбуваються у матеріальних об'єктах та системах за наявності адекватних геометричних та інформаційних моделей таких об'єктів та систем. Задача створення повнофункціональної моделі трикотажу ластичних переплетень потребує детального вивчення характеру перерозподілу нитки в структурі трикотажу під час деформації розтягу та формування бази даних, необхідних для подальшого використання моделі у віртуальних експериментах та її адаптації і перебудови на підставі заданих параметрів.

Постановка задачі. Процес створення 3D моделей структури трикотажу кулірних та зокрема ластичних переплетень розглянуто у роботах [1–4] та інших. Дослідженню розтяжності та закручуваності трикотажу ластичних переплетень присвячені роботи [5–9]. У роботі, яка відноситься до сфери інформаційних технологій, розглянуто три структури кулірного трикотажу, такі як гладь, ластик 2+2 та двовиворітна гладь. Використано енергетичну модель петлі трикотажу. Однак, оскільки алгоритм передбачає напрямок проєктування від загального до окремого та не враховує технологічних особливостей виготовлення, можна сказати, що результати дослідження забезпечують досить високий рівень візуалізації, у тому числі динаміки деформацій, але не вирішують питання моделювання та проєктування виробів із заданими фізико-механічними характеристиками.

Метою роботи є вивчення характеру зміни геометрії поверхні трикотажу переплетення ластик 2+2 та збір даних для формування його інформаційної моделі, яка враховує параметри, суттєві для моделювання його фізико-механічних властивостей, а також передбачає можливість прогнозування зміни цих параметрів для різних станів у процесі одноосного розтягу по ширині.

Експериментальна частина. Трикотаж переплетення ластик 2+2 є одним з найбільш популярних кулірних переплетень. Завдяки підвищеним показникам розтяжності та пружності його використовують і як основне переплетення для виготовлення светрів, суконь, штанів, і у якості дизайнерських або конструктивних елементів для виготовлення окремих деталей або ділянок виробів: горловини, напульсників, поясу, борту та ін. Вивчення характеру зміни властивостей такого трикотажу в деформованому стані є однією з актуальних задач на шляху до вирішення питання моделювання властивостей трикотажних полотен та виробів. Трикотаж переплетення ластик 2+2 відноситься до неповних переплетень. Він містить у своїй структурі ділянки гладі, які схильні до закручування. У процесі розтягу вздовж лінії петельного ряду відбувається розгортання цих ділянок та зміна їх взаємного розташування, а на більш пізніх стадіях розтягу відбувається перерозподіл нитки всередині окремих елементів структури трикотажу (ЕСТ), наприклад частина нитки перетягується з остовів у протяжки. По завершенню цього етапу деформації розтягу структура трикотажу досягає максимально напруженого стану: розривального видовження.

Пропонується прийняти припущення, що при поступовій деформації розтягу вздовж лінії петельного ряду існують стани трикотажу T_m , де m – номер етапу, що характеризує стан, в який приходить трикотаж з кожним збільшенням ваги. При цьому відбувається процес переходу від вільного стану, при якому $m=0$ до початку руйнування зразка, де $m=r$. Кожен стан T_m характеризується певним зусиллям розтягу, видовженням, шириною, товщиною, конфігурацією нитки в елементах структури трикотажу, а також певним співвідношенням між шириною видимих ділянок лицьових та виворітних стовпчиків всередині кожного рапорту у проєкції на площину полотна. Якщо позначити ширину ділянки рапорту – $Ш_p$, ширину опуклої частини, що формується внаслідок схильності ділянок гладі у рапорті ластичного переплетення до закручування, – C_m , а відстань між найближчими точками двох сусідніх опуклих частин – S_m , то ці ділянки рапорту будуть розташовані так, як показано на рис. 1.

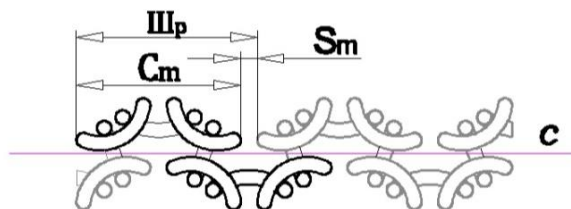


Рис. 1. Схематичне зображення переплетення ластик 2+2 у розрізі по лінії петельного ряду

У ході дослідження на плоскофанговій машині типу ПВРК 10 класу вироблено зразки трикотажу переплетення ластик 2+2 з поліакрилонітрильної пряжі лінійної густини 31×2 текс. Відповідно до стандартизованої методики підготовлено проби розміром 200 мм × 50 мм та відмічено розмір 100 мм для фіксації у затискачах релаксометра типу «стійка».

Побудова тривимірних моделей, геометричні характеристики яких відповідають геометричним характеристикам виготовлених зразків, передбачає встановлення певного набору геометричних параметрів, які не можуть бути одержані з використанням стандартизованих методик. Зокрема, необхідно визначити характер перерозподілу нитки в структурі трикотажу переплетення ластик 2+2, а також зміну лінійних розмірів зразка трикотажу, таких як довжина, ширина та товщина при поступовому збільшенні прикладеного розтягуючого зусилля при одноосній деформації зразків вздовж лінії петельного ряду. Для реалізації експерименту з розтягу трикотажу вздовж лінії петельного ряду підготовлена проба підвишувалась у затискачах релаксометра типу «стійка» та поетапно навантажувалась прикладеним розтягуючим зусиллям, величина якого складала від 20 сН до 120 сН з інтервалом 20 сН. На кожному з етапів Т0-Т6 виконувалась фотофіксація за допомогою цифрового USB мікроскопа MM-22885X-BN з використанням спеціалізованої програми для роботи із цифровими зображеннями Shiny Vision (рис. 2) та за допомогою цифрової камери (рис. 3). Отримані зображення відкалібровано у програмі Autodesk AutoCAD та оброблено з використанням спеціальних інструментів. За показник деформації розтягу нами запропоновано прийняти відносну зміну лінійного розміру ділянки рапорту по ширині. Середні значення параметрів

структури встановлено шляхом апроксимації вимірів усіх елементів структури трикотажу, що потрапили у зону видимості цифрового мікроскопа під час макрозйомки зразка у зоні навколо визначеної контрольної точки.

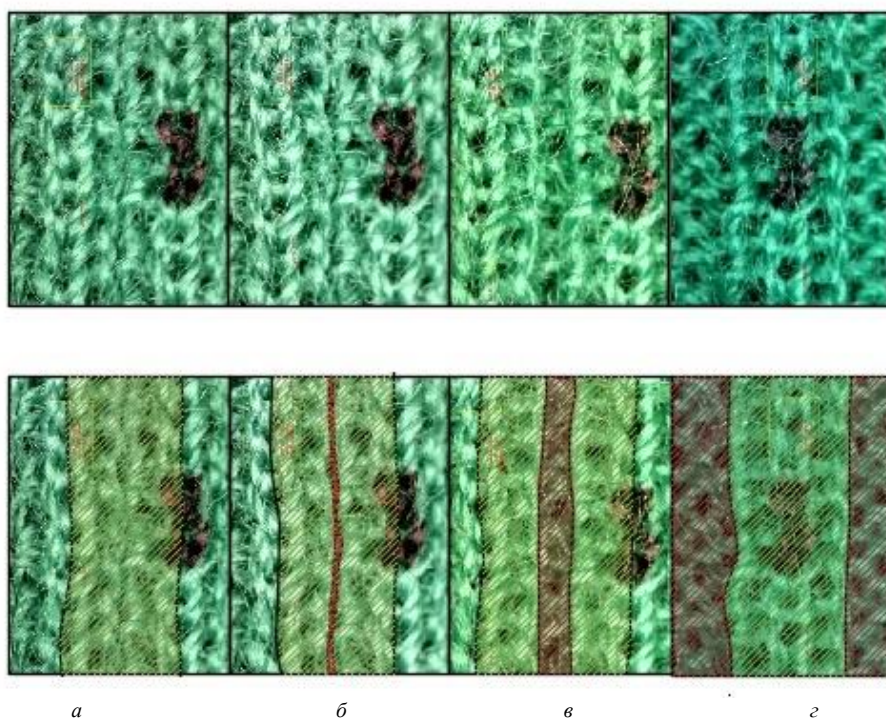


Рис. 2. Макрофотографії зразка трикотажу переплетення ластик 2+2:
а – у вільному стані до розтягу; б – після видовження (розтягу) проби на 10%,
в – після видовження проби на 50%; г – після видовження проби на 80%

На рис. 3 наведено один з етапів обробки зображень, на якому було визначено середнє значення досліджуваних параметрів $Шр$, $Ск$, Sk .

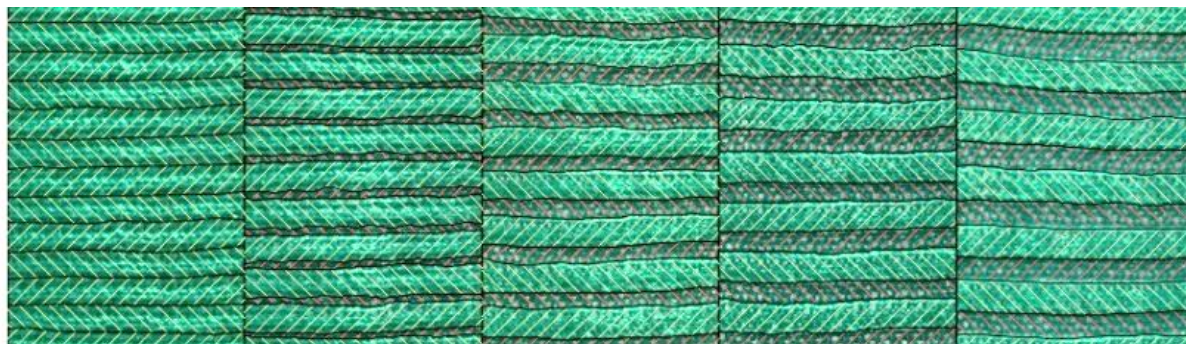


Рис. 3. Вивчення характеру перерозподілу матеріалу зразка трикотажу всередині окремого рапорту у процесі розтягу вздовж петельного ряду

Встановлені експериментальним шляхом середні значення параметрів зразка трикотажу переплетення ластик 2+2 з ПАН пряжі лінійної густини 31×2 текс під час деформації розтягу проби (етапи Т0-Т6) наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Експериментальні значення параметрів зразків трикотажу переплетення ластик 2+2

Порядковий номер етапу t	Зусилля розтягу, сН	Середня ширина ділянки рапорту $Шр_m$, мм	Середня ширина опуклої частини рапорту $С_m$, мм	Частка ширини опуклої частини в ширині рапорту, %	Середня ширина видимої ділянки увігнутої частини рапорту S_m , мм	Частка ширини видимої ділянки увігнутої частини в ширині рапорту, %	Товщина трикотажу M , мм
0	0	3,13	3,13	100	0,00	0	2,80
1	20	3,44	3,44	100	0,00	0	2,40
2	40	4,54	3,72	82,00	0,82	18,00	2,15
3	60	5,72	3,72	65,00	2,00	35,00	2,08
4	80	6,29	3,65	58,00	2,64	42,00	1,80
5	100	6,89	3,79	55,00	3,10	45,00	1,50
6	120	7,68	3,84	50	3,84	50	1,2

Одержані результати досліджень, наведені у таблиці 1, ілюструють, що у вільному стані в трикотажі

переплетення ластик 2+2 відстань S_0 практично дорівнює нулю, тобто $Шp_0 = C_0$. Поступово під дією прикладеного розтягуючого зусилля зі збільшенням характеристики ширини ділянки рапорта $Шp$, відносна частка опуклої ділянки C_m у рапорті зменшується, а видима ділянка увігнутої частини S_m відповідно збільшується. Але разом з цим ділянки C_m та S_m вздовж лінії петельного ряду дослідної проби трикотажу збільшуються нерівномірно. Отримані дані можуть бути використані для побудови інформаційної моделі трикотажу переплетення ластик 2+2, виготовленого з поліакрілонітрільної пряжі лінійної густини 31×2 текс.

Висновки. У ході проведених досліджень встановлено набір основних параметрів, необхідних для створення інформаційної моделі трикотажу переплетення ластик 2+2, яка може використовуватись у процесі моделювання розтягу трикотажу вздовж лінії петельного ряду. Відповідно до існуючих стандартизованих методик параметри структури визначаються для трикотажу, який знаходиться в умовно-рівноважному або фіксованому стані. Для забезпечення можливості відтворення динаміки зміни параметрів структури у процесі одноосної деформації вздовж лінії петельного ряду у 3D моделюванні процесу деформації трикотажу необхідно володіти інформацією про характер зміни цих параметрів під дією заданого розтягуючого зусилля. Шляхом поетапного збільшення зусилля розтягу на 20 сН (7 етапів) на релаксметрі типу «стіяка» досліджено розтяг зразка трикотажу переплетення ластик 2+2, виробленого з ПАН пряжі 31×2 текс. Встановлено, що на початковому етапі розтяг відбувається за рахунок зменшення закручуваності на ділянках гладі та збільшення ширини рапорту за рахунок збільшення відстані між найближчими точками опуклих частин сусідніх рапортів (S_m). На цьому етапі відбуваються суттєві зміни показників ширини зразка, ширини рапорту, а також перерозподіл матеріалу між окремими ділянками рапортів за рахунок зміни положення окремих елементів структури трикотажу (ЕСТ) у просторі. Товщина трикотажу також суттєво змінюється. При цьому, оскільки помітного перерозподілу ниток всередині ЕСТ не відбувається, висота петельного ряду B залишається майже незмінною.

Сформовано систему позначень для опису алгоритму побудови параметричної тривимірної моделі поверхні трикотажу ластичних переплетень. Дані, отримані у ході реалізації експерименту, можуть бути використані для створення інформаційної моделі трикотажу переплетення ластик 2+2, а також тривимірної геометричної моделі зразка трикотажу переплетення ластик 2+2 з ПАН пряжі 31×2 текс, виробленого на машині типу ПВРК 10 класу.

Література

1. Kurbak A. Basic Studies for Modeling Complex Weft Knitted Fabric Structures Part I: A Geometrical Model for Widthwise Curlings of Plain Knitted Fabrics / A. Kurbak, O. Ekmen // Textile Research Journal. – 2008. – Vol. 78 (3). – P. 198–208.
2. Wadekar P. Geometric modeling of knitted fabrics using helicoids scaffolds / P. Wadekar, P. Goel, Ch. Amanatides, G. Dion, R. D. Kamien, D.E. Breen // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – 2020. – Vol. 15. – P. 1–15.
3. Kyoungme Ch. A study on the Analyses of 3D Scanning of Knit Stitches and Modeling System – Jersey, Rib and Cable Stitches / Ch. Kyoungme, K. Jongiun, S. Nagun // Journal of Fashion Business. – 2012. – Vol. 16, № 3. – P. 125–135.
4. Kaldor J.M. Simulating yarn-based cloth. A Dissertation Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, 2011, 148 p.
5. Далидович А.С. Основы теории вязания / Далидович А.С. – М. : Легкая индустрия, 1970. – 432 с.
6. Кудрявин Л.А. Основы технологии трикотажного производства : учеб. пособие для вузов / Л.А. Кудрявин, И.И. Шалов. – М. : Легпромбытиздат, 1991. – 496 с.
7. Галавська Л.Є. Теоретичні аспекти визначення розтяжності та закручуваності подвійного неповного трикотажу / Л.Є. Галавська // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 107–110.
8. Галавська Л.Є. Дослідження розтяжності та закручуваності подвійного неповного трикотажу / Л.Є. Галавська // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 3. – С. 80–85.
9. Шалов И.И. Основы проектирования трикотажного производства с элементами САПР : учеб. для вузов. / Л.А. Кудрявин, И.И. Шалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 288 с.
10. Застанченко О. Ю. Вивчення характеру перерозподілу нитки у трикотажі ластичних переплетень під дією розтягуючих зусиль / О. Ю. Застанченко, Т. В. Єліна, Л. Є. Галавська // Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion (31 жовтня 2019 р., м. Київ). – Київ : КНУТД, 2019. – С. 207–210.

References

1. Kurbak A. Basic Studies for Modeling Complex Weft Knitted Fabric Structures Part I: A Geometrical Model for Widthwise Curlings of Plain Knitted Fabrics / A. Kurbak, O. Ekmen // Textile Research Journal. – 2008. – Vol. 78 (3). – P. 198–208.
2. Wadekar P. Geometric modeling of knitted fabrics using helicoids scaffolds / P. Wadekar, P. Goel, Ch. Amanatides, G. Dion, R. D. Kamien, D.E. Breen // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – 2020. – Vol. 15. – P. 1–15.
3. Kyoungme Ch. A study on the Analyses of 3D Scanning of Knit Stitches and Modeling System – Jersey, Rib and Cable Stitches / Ch. Kyoungme, K. Jongiun, S. Nagun // Journal of Fashion Business. – 2012. – Vol. 16, № 3. – P. 125–135.
4. Kaldor J.M. Simulating yarn-based cloth. A Dissertation Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, 2011, 148 p.
5. Dalidovich A.S. Osnovy teorii vyazaniya / Dalidovich A.S. – M. : Legkaya industriya, 1970. – 432 s.

6. Kudryavin L.A. Osnovy tehnologii trikotazhnogo proizvodstva : ucheb. posobie dlya vuzov / L.A. Kudryavin, I.I. Shalov. – M. : Legprombytizdat, 1991. – 496 s.
7. Halavska L.Ie. Teoretychni aspekty vyznachennia roztiazhnosti ta zakruchuvanosti podviinoho nepovnoho trykotazhu / L.Ie. Halavska // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2015. – № 2. – S. 107–110.
8. Halavska L.Ie. Doslidzhennia roztiazhnosti ta zakruchuvanosti podviinoho nepovnoho trykotazhu / L.Ie. Halavska // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2015. – № 3. – S. 80–85.
9. Shalov I.I. Osnovy proektirovaniya trikotazhnogo proizvodstva s elementami SAPR : ucheb. dlya vuzov. / L.A. Kudryavin, I.I. Shalov. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : Legprombytizdat, 1989. – 288 s.
10. Zastanchenko O. Yu. Vyvchennia kharakteru pererозpodilu nytky u trykotazhi lastychnykh perepleten pid diieiu roztiahuiuchykh zusyl / O. Yu. Zastanchenko, T. V. Yelina, L. Ye. Halavska // Zbirnyk materialiv III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii tekstylnykh ta feshn tekhnolohii KyivTex&Fashion (31 zhovtnia 2019 r., m. Kyiv). – Kyiv : KNUTD, 2019. – S. 207–210.

Надійшла / Paper received: 07.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020

УДК 504.06:691

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-36

Є. М. ЗАВЕРАЧ, С. Я. ПІДГАЙЧУК,
Н. С. МАШОВЕЦЬ, Н. М. ЯВОРСЬКА, Л. Р. ДАНЧУК
Хмельницький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ ШЛАМІВ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ТА ПОКРІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І СУМІШЕЙ

В роботі наведені короткі відомості про методи очищення стічних вод гальванічних виробництв з одночасною характеристикою утворених твердих шламів. Проведений аналіз публікацій щодо існуючих сучасних технологій переробки та утилізації гальванічних шламів, які накопичуються на промислових підприємствах різних регіонів України, з акцентуванням щодо їх використання під час виготовлення будівельних та покрівельних матеріалів і сумішей. Розглянуті можливості зацікавлення підприємств Хмельницької області у використанні гальваношламів під час виробництва широкого асортименту будівельної продукції.

Ключові слова: стічні води, гальванічні шлами, важкі метали, утилізація, будівельні матеріали, покрівельні матеріали.

Ye. ZAVERACH, S. PIDGAYCHUK, N. MASHOVETS, N. YAVORSKA, L. DANCHUK
Khmelnitskyi National University

PROSPECTS OF USING GALVANIC SLUDGE IN THE MANUFACTURE OF BUILDING AND ROOFING MATERIALS AND MIXTURES

The paper presents an analysis of recent publications on environmental safety and on electroplating waste treatment. The problems of utilization and secondary use of galvanic sludge, which are accumulated at industrial enterprises of different regions of Ukraine and on the territory of SE "Novator" (Khmelnitskyi) are considered. Based on the literature survey the use of galvanic waste as a raw material for the production of building and roofing materials and mixtures is analyzed in detail. Positive experience of sludge waste usage in the brick production at Irpin plant of building materials "Progress" is noted. It is shown that the usage of galvanic chromium-containing sludge in the production of mortars saves up to 10% of cement. The material on the application of the ferritization method for the treatment of highly concentrated wastewater and slurry suspensions of sludge is presented, the compositions of alkaline cements with the use of liquid ferritic waste are developed and the reliable fixation of heavy metals in the structure of alkaline cements is proved. The technical characteristics of such materials are quite high (39 – 45 MPa). Possibilities of sludge waste application in the production of different types of bricks are given. To improve the immobilization of heavy metals when using galvanic sludge in the production of bricks, up to 30 wt. % of glass waste are added to the mixture of materials. For co-utilization of chromium-containing galvanic sludges and oil wastes it is proposed to replace a part of bitumen with them in the production of waterproofing mastics and polymer-bitumen waterproofing materials, which will improve their physical and chemical properties. The researches on utilization of sludges of various galvanic productions by stabilization-hardening by asphalt emulsions are given. The obtained asphalt coatings are characterized by high hydrophobicity, inertness and extremely high stability to various environmental influences. The utilization technologies of galvanic sludges in the manufacture of construction and roofing materials and mixtures are the most promising for Khmelnytskyi region's industrial objects.

Key words: wastewater, galvanic sludge, heavy metals, utilization, building materials, roofing materials.

Постановка проблеми. Гальванічні виробництва відрізняються значною конкурентною спроможністю в порівнянні з іншими способами обробки поверхні матеріалів із-за низки переваг: можливість отримання покриттів на деталях складної конфігурації, легке регулювання товщини та структури покриттів, електроосадження таких сплавів і композиційних покриттів, отримання яких іншими способами ускладнене, а то й неможливе. Слід також відмітити простоту автоматизації та економічну ефективність гальванічних виробництв. На теперішній час нагальною проблемою сучасних гальванічних виробництв стало зменшення кількості різноманітних відходів, їх утилізація, розробка нових технологій, які б дозволяли отримати з відходів товарні продукти, що можуть бути використані, як на цьому підприємстві, так і на інших.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одна з найбільш гострих проблем сьогодення – це охорона навколишнього середовища, і відповідно, очищення промислових стічних вод є одним з найважливіших природоохоронних заходів. Стічні води гальванічних цехів та дільниць підприємств машинобудівної, електротехнічної і радіоелектронної галузей промисловості містять наступні компоненти-забруднювачі: солі важких металів, поверхнево-активні речовини, неорганічні кислоти, луги. Так у посібнику [1] чітко викладені загальні аспекти потенційної екологічної небезпеки гальванічного виробництва, визначені джерела утворення газоподібних, рідких та твердих відходів і методи їх знешкодження. Для очищення стічних вод гальванічних виробництв використовують хімічні (реагентні), іонообмінні та електрохімічні методи [1–3]. Слід зазначити, що електрохімічні методи, і зокрема, електрофлотація, електрокоагуляція, електродіаліз, електроекстракція, є досить перспективними, як в екологічному, так і економічному аспектах.

На теперішній час самими розповсюдженими методами очищення стічних вод залишаються реагентні, при яких іони металів під дією лужних реагентів: кальцій гідроксиду, кальцій або магній карбонату, взятих у значному надлишку, переходять у нерозчинний стан. Суттєві недоліки реагентних методів полягають у підвищених витратах реагентів на процес очищення, додатковому забрудненні стічних вод за рахунок попадання в них катіонів та аніонів реагентів, відносно низькому ступені очищення і,

головне, одержанні великих кількостей багатокомпонентних, хімічно нестійких та важко зневоднюваних шламів [1, 4, 5]. За масштабами нагромадження шламовідходи можуть бути порівнянні з природними копалинами. Так, у роботі [6] зазначається, що щороку на підприємствах України утворюється 10000–12000 т гальваношламів. У [7] вказується, що ще на початку 2000-х років на 80 промислових підприємствах м. Києва накопичилось близько 1700 т гальванічних шламів і в подальшому спостерігалась тенденція до їх зростання. На теперішній час на території ДП "Новатор" (м. Хмельницький), яке є одним із провідних підприємств України з нанесення гальванічних покриттів та виготовлення радіо- і електрообладнання, знаходиться більше ніж 1000 м³ шламів. Відомо [1, 6], що у відходах різних гальваноліній концентрації важких металів змінюються у широких межах (мг/кг): залізо 1100–110000; мідь 500–87000; цинк 100–50000; хром 50–25000; нікель 2–20000; кобальт 8–1000; свинець 137–7500; олово – 8700–72000; кадмій 54–2100.

У роботах [8–10] особливий акцент зроблено на практичні рекомендації щодо поводження з промисловими відходами на підприємствах, аналіз джерел утворення відходів, надання основних методів і технологій видалення та переробки відходів. Зокрема, у [8] докладно розглянуто утилізацію відходів різних промислових виробництв при виготовленні будівельних матеріалів. Автори роботи [9] навели головні особливості утилізації відходів в Україні та інших країнах, зупинились на специфіці відходів гальванічних виробництв та запропонували певні варіанти щодо усунення їх негативного впливу на навколишнє середовище. Видання [10] зосереджено на тому, як на основі знань про реалізацію різних методів переробки відходів, зробити правильний вибір шляхів їх оптимізації та визначення найбільш ефективного методу для певного виробництва. У книзі проілюстровано різні підходи до розв'язання проблем поводження з відходами та їх покрокова реалізація.

Найбільш застосована технологія обробки шламів гальванічних виробництв містить стадії ущільнення, зневоднення, які найчастіше реалізуються у сушарках фільтраційного типу, та захоронення. Вказані операції потребують значних енергетичних витрат. Внаслідок токсичності іонів важких металів, які містяться в шламах та їх розчинності в атмосферних опадах, особливо при підвищенні кислотності середовища, гальваношлами відносять до I–III класу небезпеки [11–13]. У відповідності з СанПіН 2.2.7.029–99 захоронення таких шламовідходів необхідно реалізовувати у герметичній упаковці на спеціальних полігонах, які повністю виключають винесення іонів важких металів у навколишнє середовище. Враховуючи значні витрати енергії, коштів і часу на захоронення шламів, марнування великих площ земель та втрати великої кількості кольорових металів, необхідно розробляти різноманітні технології утилізації гальванічних шламів. Тому і надалі залишається актуальним питання вторинного використання відходів певного гальванічного виробництва, їх переробка та застосування у якості сировини в інших галузях промисловості і можливо й сільського господарства.

Мета роботи. Головна мета даної роботи полягає в аналізі наукових публікацій щодо існуючих технологій переробки та утилізації гальванічних шламів, які накопичуються на промислових підприємствах різних регіонів України, а також висвітленні можливостей застосування цих відходів для виготовлення будівельних та покрівельних матеріалів і сумішей з фокусом на промислові об'єкти Хмельницької області.

Виклад основного матеріалу. Вибір найбільш оптимальної та вигідної технології переробки та утилізації шламів потребує всебічного дослідження їх фізико-хімічних властивостей. Умовно відомі технології переробки та утилізації гальванічних шламів можна розділити на декілька великих груп:

- обробка за допомогою пірометалургійних, гідрометалургійних, гідроелектрометалургійних та електроекстракційних методів для вилучення металів та їх сплавів і сполук (гідроксидів і солей) [13–17];
- застосування шламів в якості наповнювачів полімерних композиційних матеріалів, іммобілізація в полімерній матриці [14, 18];
- зв'язування з інертними речовинами та модифікування шламів для виробництв, де можуть бути використані специфічні властивості сполук важких металів, зокрема у виробництвах пігментів для лакофарбових матеріалів, кольорових полив, скляних, склокерамічних та керамічних виробів, ефективних сорбентів [6, 11, 14, 19–25];
- використання в якості сировинних компонентів для одержання будівельних та покрівельних матеріалів і сумішей [8, 13, 18, 26–32].

Ще раз підкреслюємо, що це розділення є достатньо умовним і в багатьох випадках переробка та утилізація шламовідходів поєднує технології, що належать до різних груп [13, 18, 24, 27].

Більш докладний огляд саме останньої групи технологій переробки та утилізації шламовідходів обумовлений двома причинами. По-перше, ці технології найбільш прості в плані швидкої практичної реалізації та не потребують значних капіталовкладень. Слід відмітити, що для виготовлення бетонних й асфальтобетонних сумішей та цементів шлами слід висушувати (низькотемпературна цементация), а при виробництві керамзиту у склад глиняної маси можливо залучити і вологий шлам (високотемпературна цементация) [26]. По-друге, у використанні гальваношламів при виготовленні будівельних та покрівельних матеріалів можна зацікавити ряд підприємств Хмельницької області: ТДВ «Хмельницькзалізобетон», ПАТ «Подільський цемент», «Цегельний завод м. Волочиськ» від ТОВ «Тернопільбуд», ТОВ «Бубнівський цегельний завод», ТОВ «ЦЕГЕЛЬНИК», ТОВ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ЦЕГЕЛЬНИК», ПРАТ «МАЙДАН-ВИЛЬСЬКИЙ КОМБІНАТ ВОГНЕТРИВІВ», ТОВ «Хмельницький завод керамзитового гравію». Наголошуємо на тому, що останнє підприємство є лідером у нашому регіоні та активно розвивається. Потрібно також врахувати, що компанія Golden Tile планує побудувати новий завод з виробництва

керамічної плитки у м. Полонне на базі Майдан-Вильського кар'єру [33]. Це буде міні-завод потужністю 5–6 млн м²/рік на базі колишнього Полонського фарфорового заводу з його повною реконструкцією. Продукція буде вироблятися відповідно до європейських форматів і дизайну.

Дослідження [6, 12] зосереджені на визначенні фізико-хімічних характеристик хромвмісних шламів гальванічних виробництв та їх застосуванні у виробництві в'язучих та будівельних матеріалів. У [6] визначений хімічний склад електрокоагуляційного шламу, який містить (мас. %): Fe 79 – 85; Cr 10 – 16; Na 1,9 – 3,6; Ca 0,9 – 2,3; Ni 0,015 – 0,1; Cu 0,01 – 0,035; Al 0,01 – 0,04; Zn 0,01 – 0,025. Шлам є сумішшю ферум гідроксидів з адсорбованими на них хром гідроксидами та ферум оксидами. Склад цих феритів-хромітів можна представити загальною формулою $x\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot y\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot z\text{H}_2\text{O}$.

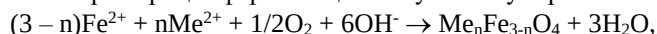
Запропоновано декілька шляхів утилізації шламовідходів. Найбільш перспективний шлях використання – це їх введення в кількості 3 – 5% як окремого компонента до глиномаси при виготовленні керамзиту, цегли, черепиці. Після формування та високотемпературної обробки шлам рівномірно розподіляється по об'єму виробів і переходить у зв'язаний стан, що виключає виділення важких металів. При цьому механічна міцність та морозостійкість продукції покращується на 15 – 20%, а водопоглинання знижується на 2%. Вже існує позитивний досвід застосування шламовідходів при виробництві цегли на Ірпінському комбінаті будівельних матеріалів «Прогрес». Інший спосіб утилізації ферит-хромітних шламів пов'язаний з їх додаванням до мінерального наповнювача асфальтобетонних сумішей, при цьому їх вміст не повинен перевищувати 1,6%.

У роботі [12] досліджували гальванічний хромвмісний шлам, який є суспензією з високим вмістом електролітів. Для зниження вологості до 88 – 90% шлам піддавали обробці на вакуум-фільтрах. У його склад входили (мас.%): $\text{Cr}(\text{OH})_3$ – 22; $\text{Fe}(\text{OH})_3$ – 2; $\text{Zn}(\text{OH})_2$ – 3; сульфати – 6; карбонати – 27; фосфати – 10; інше – 12. Дослідження показали, що гальванічний хромвмісний шлам доцільно використовувати у вигляді додатків до бетону та будівельних розчинів. За рахунок ефекту пластифікації у важких бетонах додавання шламу в кількості не більше 1% призводить до зниження витрат цементу на 10 – 15% при збереженні тих же показників міцності. Для будівельних розчинів також спостерігалась економія цементу до 10%. Наголошується на тому, що дозування добавки шламовідходів вимагає високої точності.

У роботі [13] проводилось випробовування ефективної гідроелектрометалургійної технології переробки на гальваншламах Київського мотозаводу, Київського радіозаводу, Артемівського заводу кольорових металів. Запропонована технологія дозволяє не тільки окремо вилучити з відходів мідь, нікель та хром, але й мінімізувати залишок після переробки. Отриманий залишок містить кальцій сульфат та кальцій алюмосилікат з незначними домішками кольорових металів, є нешкідливим і може бути використаний в якості пластифікатора до бетону.

В [24, 27] для переробки висококонцентрованих стічних вод та суспензій шламу застосовували метод феритизації, який характеризується високою ефективністю. Відомо, що відходи гальванічних виробництв, які містять високотоксичні сполуки нікелю, частка яких досягає до 20% від загального вмісту важких металів, крім екологічного навантаження на довкілля, призводить до втрати достатньо дорогого кольорового металу. Феритизація характеризується більшою ефективністю та рядом переваг в порівнянні з розповсюдженим реагентним методом, зокрема дозволяє отримати в процесі очищення практично нерозчинні сполуки нікелю та інших важких металів.

При феритизації до нагрітого до 40–45 °С розчину чи суспензії додають необхідну кількість розчинів ферум (II) сульфату та натрій гідроксиду. При подальшому нагріванні до 60–75 °С через суміш з певними витратами барботують повітря. Процес феритизації описується сумарною хімічною реакцією



де n змінюється в межах від 0 до 1. Перебіг процесу феритизації та склад одержаних феритів важких металів визначається температурою, рН реакційної суміші, питомими витратами солі феруму, часом барботування.

Рідкі та тверді відходи, одержані після феритизації висококонцентрованих стічних вод, автори роботи [27] запропонували застосувати для виготовлення двох видів цементів: шлаколузжого і лузжого композиційного та бетонів на їх основі. Лузжні цементі відрізняються унікальними експлуатаційними властивостями і можуть містити у своєму складі до 95% відходів та супутніх продуктів промисловості, а саме шламу, паливних зол, доменних гранульованих шлаків тощо. Рідкі відходи використовували як затворювачі цементів, а тверді – як наповнювачі.

Методом атомно-абсорбційної спектроскопії встановлено, що рідкі відходи складались з (мг/л): SO_4^{2-} – 25500; Cl^- – 1186; $\text{Fe}^{\text{заг}}$ – 0,1; Ni^{2+} – 0,42; рН – 10,21. Фазовий склад твердих відходів, визначений методом порошкової дифракції, був наступним (мас.%): Fe_2O_3 – 45,3; Fe_3O_4 – 41,2; NiO – 11,9; NiFe_2O_4 – 1,6. Перед введенням до цементів осад подрібнювали до фракції 0,5 – 1 мм. Проведені дослідження показали, що експлуатаційні характеристики цементів, виготовлених з використанням відходів не погіршились, а вилугування важких металів з цементів було низьке або практично відсутнє.

Досліджувані цементі були апробовані для виготовлення бетонних сумішей. Одержані бетони показують високу інтенсивність кінетики набору міцності, величина якої досягла 45 МПа за 28 діб. Порівняння властивостей отриманого матеріалу з базовим доводить, що використання відходів не впливає на міцність бетону навіть при введенні їх значної кількості.

Таким чином, авторами було розроблено склади лузжних цементів з застосуванням рідких відходів феритної очистки та доведено надійну фіксацію важких металів у структурі лузжних цементів. Матеріали на

основі цих цементів рекомендовані для використання в будівництві нежитлових будівель та споруд. Було запропоновано також склади бетонів загальнобудівельного призначення на основі лужних цементів з застосуванням високого наповнення продуктами водоочистки, експлуатаційні показники таких бетонів досить високі, зокрема міцність досягає 39–45 МПа.

Фокус робіт [28–30] був зосереджений на пошуках можливостей застосування шламовідходів при виробництві різних видів цегли. У [28] для виготовлення цегли використовували три типи глинистої сировини (червона, жовта і чорна) в рівних співвідношеннях з гальванічними шламами, при цьому їх вміст не перевищував 5%. Фізико-хімічні характеристики отриманої суміші досліджували методами рентгенофлуоресцентного та рентгеноструктурного аналізу, а також CHNS хімічного аналізу. Цегла виготовлялась за стандартною технологією з відпалюванням при 950 °C протягом 1 год. Було проведено порівняння інженерних характеристик цегли без та з шламами, а саме щільності, адсорбції води, наявності відкритих пор, водопоглинання, міцності на стискування. Встановлено, що додавання гальваношламів зменшило лінійну усадку та загальну щільність цегли, до того ж вона характеризувалась нижчою відкритою поруватістю. Скануюча електронна мікроскопія та визначення розподілу пор за розмірами показали, що при додаванні шламовідходів в основному формуються закриті пори, що призводить до покращення механічних властивостей. При проведенні тестів вилугування з відпаленої цегли зі шламами не спостерігається вилучення важких металів, тобто в цеглі вони перебувають в зв'язаному (інертизованому) стані.

В [29] запропонована методика для покращення іммобілізації важких металів при використанні гальваношламів у виробництві цегли, яка полягає у додаванні до вихідної шихти до 30 мас.% скляних відходів. Це призводить як до покращення інженерних характеристик продукції, так і до суттєвого зниження концентрації важких металів після тестів вилугування. Останнє пов'язане з тим, що при високотемпературній обробці скляні відходи та андезин розплавляються та формують рідинну фазу, що полегшує масоперенесення та прискорює кінетику реакції формування стабільних шпінелей з випровадження важких металів, зокрема Cu та Zn. Ця рідинна фаза також заповнює пори та ущільнює цеглу, що відіграє важливу роль у запобіганні вилучення важких металів. Введення в цеглу крім гальваношламів до 30 мас.% порошку скляних відходів призвело до зниження поверхневої площі від 0,84 до 0,05 м²/г, а відкритої поруватості від 10,69 до 1,16%. При цьому міцність на стискування зросла від 20 до 32,7 МПа.

Дослідження [31] присвячене питанню утилізації шламів гальванічних виробництв та битого скла при виготовленні облицювальних панелей для фасадів багатоповерхових будинків та цокольних приміщень. Основним компонентом шихти була глина наступного складу (мас. %): SiO₂ – 67,5; Al₂O₃ – 10,75; Fe₂O₃ – 5,85; CaO – 2,8; MgO – 1,7; K₂O – 2,4; Na₂O – 0,7. Як другий компонент використовували гальваношлами машинобудівних підприємств, які містили (мас. %): Zn(OH)₂ – 11,3; SiO₂ – 7,08; Ca(OH)₂ – 16,52; Cr(OH)₃ – 9,31; Cr₂S₄ – 4,17; CaCO₃ – 40,25; CaO – 3,45; ZnO – 2,41; Cu(OH)₂ – 2,38; Ni(OH)₂ – 2,62; Mn(OH)₂ – 0,64; Pb(OH)₂ – 0,14. Іншими складовими були бите скло та борна кислота, введення якої покращує характеристики міцності та перешкоджає міграції важких металів у навколишнє середовище. Кількість гальваношламів у шихті досягала 5 мас.%, а вміст битого скла і борної кислоти становили 10–30 та 2,5–5 мас.% відповідно. Досліджувану керамічну композицію виготовляли при нижчих тиску та температурі в порівнянні зі стандартними облицювальними матеріалами: 15 МПа та 1050 °C на відміну від ≥ 30 МПа та 1100–1450 °C. Густина одержаних облицювальних матеріалів була нижча в порівнянні з аналогами, що призводило до зменшення маси облицюваних фасадів та цоколів, і відповідно до зниження навантаження на фундамент будівлі. Таким чином одержані облицювальні матеріали чудово підходять для багатоповерхових конструкцій. До того ж вони мають добрі механічні характеристики, знижені поруватість і водопоглинання та підвищену морозостійкість.

У роботі [18] для сумісної утилізації хромвмісних гальваношламів та нафтовідходів запропоновано замінити ними частину бітуму при виробництві гідроізоляційних мастик та полімербітумних гідроізоляційних матеріалів. Визначено, що одержані матеріали характеризуються покращеними фізико-хімічними властивостями, зокрема більш високими температурами розм'якшення та крихкості, нижчим водопоглинанням та водонепроникністю, кращою міцністю зчеплення з основою.

Дослідження [32] присвячене утилізації шламів різних гальванічних виробництв шляхом стабілізації-затвердіння асфальтовими емульсіями. Були використані чотири види шламовідходів, хімічний склад сухого залишку яких визначений за допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу (мас. %): зразок 1: Ca – 3,6; Cr – 2,6; Fe – 18; Cu – 1,5; Zn – 13,8; зразки 2 – 4: Ca – 13,4; Cr – 0,2; Fe – 8,2; Ni – 0,2; Cu – 0,7; Zn – 8,4; Cd – 2,0. Для більш надійної стабілізації гальванічних шламів перед використанням їх для заповнення дорожнього покриття запропонована комбінація двох водних асфальтових емульсій. Спочатку шлами змішують з асфальтовою емульсією з більш низькою в'язкістю, а потім формується вторинний бар'єр на основі асфальтової емульсії з більш високою в'язкістю. Саме асфальт вторинного бар'єру перешкоджає можливому вилугуванню важких металів. Проведені екотоксичні тести показали дуже низький рівень вилугування стабілізованих за допомогою асфальтових емульсій гальванічних шламів. Одержані асфальтові покриття відрізняються високою гідрофобністю, інертністю та надзвичайно підвищеною стабільністю до різноманітних впливів навколишнього середовища. Отже проглядається перспектива комерційного використання у масовому виробництві досліджуваних асфальтових емульсій з введенням гальваношламів та їх практичного застосування при будівництві сучасних доріг, розв'язок та магістралей.

Висновки. Таким чином для зниження негативного впливу на навколишнє середовище гальванічних шламів, які накопичились на існуючих промислових підприємствах та полігонах для

захоронення, слід проводити всебічні дослідження їх фізико-хімічних характеристик з наступними розробкою і/або пропозицією технологій переробки та утилізації шламовідходів. Найбільш перспективним для нашого регіону представляється використання технологій утилізації гальваншламів при виготовленні будівельних та покрівельних матеріалів і сумішей. Це дозволить задіяти потенціал існуючих підприємств з виробництва в'язучих і будівельних матеріалів, поліпшити якість виготовленої продукції та розширити її асортимент.

Література

1. Донченко М.І. Екологічна безпека гальванотехніки. Частина 1. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка : навч. посіб. / М.І. Донченко, С.В. Фроленкова. – К. : НТУУ «КПІ», 2016. – 202 с.
2. Кунтий О.І. Гальванотехніка / О.І. Кунтий – Львів : Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 236 с.
3. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство / С.С. Виноградов ; под ред. В.Н. Кудрявцева. – М. : ПИП «Глобус», 1998. – 302 с.
4. Филатова Е.Г. Разработка цеолитно-сорбционной технологии очистки сточных вод гальванического производства / Е.Г. Филатова, О.И. Помазкина, Ю.Н. Пожидаев // Химия и технология воды. – 2014. – Т. 36, № 6. – С. 559–566.
5. Кочетов Г.М. Комплексная очистка сточных вод промышленных предприятий с регенерацией тяжелых металлов / Г.М. Кочетов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 4. – С. 41–43.
6. Мельник О.С. Гальваншлами – токсичні відходи чи вторинна сировина? / О.С. Мельник // Вісник СумДУ. Серія технічні науки. – 2011. – № 4. – С. 186–190.
7. Губская Е.С. Утилизация отходов гальванического производства, содержащих Cr (VI) / Е.С. Губская // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. – № 2. – С. 33–36.
8. Абашина К.О. Конспект лекцій з курсу «Утилізація промислових відходів» / К.О. Абашина, О.В. Хандогіна. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2016. – 58 с.
9. Дуюн А.І. Утилізація гальванічних відходів / А.І. Дуюн, С.О. Гринь // Young Scientist. – 2018. – № 10. – С. 419–421.
10. Industrial Waste Treatment Handbook. Elsevier Inc., 2006. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7963-3.X5000-0> (date of application: 15.04.2020).
11. Ханик Я.М. Проблеми утилізації відходів гальванічного виробництва [Електронний ресурс] / Я.М. Ханик, Н.Я. Цюра // Lviv Polytechnical National University Institutional Repository. – Режим доступу : <http://ena.lp.edu.ua> (дата звернення : 8.11.2019).
12. Мальцева И.В. Об использовании шламотходов при производстве строительных материалов / И.В. Мальцева [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2. – Режим доступа : <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4880> (дата обращения : 4.01.2020).
13. Сидоренко И.Г. Разработка технологии переработки шламов гальванических производств / И.Г. Сидоренко, Г.М. Загоровский, В.В. Лобанов // Экология и промышленность. – 2010. – № 3. – С. 34–38.
14. Ольшанская Л.Н. Утилизация гальванических шламов предприятий Саратовского региона в товары народного потребления [Электронный ресурс] / Л.Н. Ольшанская, Е.Н. Лазарева, В.В. Егоров // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/utilizatsiya-galvanicheskikh-shlamov-predpriyatiy-saratovskogo-regiona-v-tovary-narodnogo-potrebleniya> (дата обращения : 4.01.2020).
15. Silva J.E. Leaching behaviour of a galvanic sludge in sulphuric acid and ammoniacal media / J.E. Silva, D. Soares [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2005. – V. B121. – P. 195–202.
16. Miškufova A. Hydrometallurgical route for copper, zinc and chromium recovery from galvanic sludge / A. Miškufova, T. Havlik [et al.] // Acta Metallurgica Slovaca. – 2006. – № 12. – P. 293–302.
17. Клищенко Р.Е. Извлечение цветных металлов из шламов гальванического производства / Р.Е. Клищенко, Косоруков А.А. [и др.] // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – № 2. – С. 46–50.
18. Кузнецова О.Н. Утилизация шламов гальванического производства [Электронный ресурс] / О.Н. Кузнецова, В.В. Сергеев. – 2015. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/utilizatsiya-shlamov-galvanicheskogo-proizvodstva> (дата обращения : 4.01.2020).
19. Andreola F. Synthesis of chromium containing pigments from chromium galvanic sludges / F. Andreola, L. Barbieri [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – V. 156. – P. 466–471.
20. Costa G. Malayaite ceramic pigments prepared with galvanic sludge as colouring agent / G. Costa, M.J. Ribeiro [et al.] // Dyes and Pigments. – 2008. – V. 78. – P. 157–164.
21. Andreola F. Physical-chemical characterization of a galvanic sludge and its inertization by vitrification using container glass / F. Andreola, L. Barbieri [et al.] // WIT Transactions on Ecology and the Environment. Waste Management and the Environment. – 2006. – V. 92. – URL : <https://doi.org/10.2495/WM060031> (date of application: 10.04.2020).
22. Magalhães J.M. Effect of experimental variables on the inertization of galvanic sludges in clay-based ceramics / J.M. Magalhães, J.E. Silva [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2004. – V. 106B. – P. 139–147.
23. Magalhães J.M. Role of the mixing conditions and composition of galvanic sludges on the inertization process in clay-based ceramics / J.M. Magalhães, J.E. Silva [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2004. – V. 106B. – P. 169–176.

24. Семенов В.В. Снижение экологической опасности шламов гальванических производств методом ферритизации : автореферат дис. на соискание науч. степени к.т.н. : 03.00.16 – экология / В.В. Семенов. – Ульяновск, 2004. – 24 с.
25. Синюшкин А.Н. Утилизация гальванических шламов / А.Н. Синюшкин, Супрунчук В.И. [и др.] // Вопросы химии и химической технологии. – 2012. – № 2. – С. 175–178.
26. Святохина В.П. Исследование реагентного метода очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов : автореферат дис. на соискание науч. степени к.т.н. : 03.00.16 – экология / В.П. Святохина – Уфа, 2002. – 23 с.
27. Кочетов Г.М. Розробка технології утилізації продуктів очистки промислових стоків методом феритизації у матриці лужних цементів [Електронний ресурс] / Г.М. Кочетов, Д.М. Самченко [та ін.]. – Режим доступу : <http://doi:10.15587/2312-8372.2018.152615> (дата звернення : 1.11.2019).
28. Pérez-Villarejo L. Valorization and inertization of galvanic sludge waste in clay bricks / L. Pérez-Villarejo, S. Martínez-Martínez [et al.] // *Applied Clay Science*. – 2015. – V. 105–106. – P. 89–99.
29. Linqiang Mao. Addition of waste glass for improving the immobilization of heavy metals during the use of electroplating sludge in the production of clay bricks / Linqiang Mao, Wenyi Zhang // *Construction and Building Materials*. – 2018. – V. 163. – P. 875–879.
30. Starostina I. The usage of iron-containing sludge wastes in ceramic bricks production / I. Starostina, M. Simonov [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 365. – 2018. – URL : <https://doi:10.1088/1757-899X/365/3/032066> (date of application: 10.04.2020).
31. Vitkalova I. Industrial waste utilization in the panels production for high buildings facade and socle facing / I. Vitkalova, A. Torlova [et al.] // *E3S Web of Conferences* 33. – 2018. – URL : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302062> (date of application: 10.04.2020).
32. Bednarik V. Stabilization/solidification of galvanic sludges by asphalt emulsions / V. Bednarik, M. Vondruska, M. Koutny // *Journal of Hazardous Materials*. – 2005. – V. B122. – P. 139–145.
33. У Полонному побудують завод з виробництва керамічної плитки. 30.05.2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://newskm.net/publications> (дата звернення : 9.04.2020).

References

1. Donchenko M.I. Ekologichna bezpeka halvanotekhniki. Chastyna 1. Stichni vody. Mekhanichna ta sorbtsiina ochystka : navch. posib. / M.I. Donchenko, S.V. Frolenkova. – K. : NTUU «KPI», 2016. – 202 s.
2. Kuntiy O.I. Halvanotekhnika / O.I. Kuntiy – Lviv : Vyd-vo Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika”, 2004. – 236 s.
3. Vinogradov S.S. Ekologicheski bezopasnoe galvanicheskoe proizvodstvo / S.S. Vinogradov ; pod red. V.N. Kudryavceva. – M. : PIP «Globus», 1998. – 302 s.
4. Filatova E.G. Razrabotka ceolitno-sorbtsionnoy tehnologii ochistki stochnyh vod galvanicheskogo proizvodstva / E.G. Filatova, O.I. Pomazkina, Yu.N. Pozhidaev // *Himiya i tehnologiya vody*. – 2014. – T. 36, № 6. – S. 559–566.
5. Kochetov G.M. Kompleksnaya ochistka stochnyh vod promyshlennyyh predpriyatij s regeneraciej tyazhelyh metallov / G.M. Kochetov // *Ekotekhnologii i resursoberezenie*. – 2000. – № 4. – S. 41–43.
6. Melnyk O.S. Halvanoshlami – toksychni vidkhody chy vtorynna syrovyna? / O.S. Melnyk // *Visnyk SumDU. Seriya tekhnichni nauky*. – 2011. – № 4. – S. 186–190.
7. Gubskaya E.S. Utilizatsiya othodov galvanicheskogo proizvodstva, sodержashih Cr (VI) / E.S. Gubskaya // *Ekotekhnologii i resursoberezenie*. – 2005. – № 2. – S. 33–36.
8. Abashyna K.O. Konspekt lektzii z kursu «Utylizatsiia promyslovykh vidkhodiv» / K.O. Abashyna, O.V. Khandolina. – Kharkiv : KhNUMH im. O.M. Beketova, 2016. – 58 s.
9. Duiun A.I. Utylizatsiia halvaninnykh vidkhodiv / A.I. Duiun, S.O. Hryn // *Young Scientist*. – 2018. – № 10. – S. 419–421.
10. Industrial Waste Treatment Handbook. Elsevier Inc., 2006. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7963-3.X5000-0> (date of application: 15.04.2020).
11. Khanyk Ya.M. Problemy utylizatsii vidkhodiv halvanichnoho vyrobnytstva [Elektronnyi resurs] / Ya.M. Khanyk, N.Ia. Tsiura // *Lviv Polytechnical National University Institutional Repository*. – Rezhym dostupu : <http://ena.lp.edu.ua> (data zvernennia : 8.11.2019).
12. Malceva I.V. Ob ispolzovanii shlamothodov pri proizvodstve stroitelnykh materialov / I.V. Malceva [Elektronnyi resurs] // *Inzhenernyy vestnik Dona*. – 2018. – № 2. – Rezhim dostupa : <http://ivdon.ru/rumagazine/archive/n2y2018/4880> (data obrasheniya : 4.01.2020).
13. Sidorenko I.G. Razrabotka tehnologii pererabotki shlamov galvanicheskikh proizvodstv / I.G. Sidorenko, G.M. Zagorovskij, V.V. Lobanov // *Ekologiya i promyshlennost*. – 2010. – № 3. – S. 34–38.
14. Olshanskaya L.N. Utilizatsiya galvanicheskikh shlamov predpriyatij Saratovskogo regiona v tovary narodnogo potrebleniya [Elektronnyi resurs] / L.N. Olshanskaya, E.N. Lazareva, V.V. Egorov // *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. – 2012. – Rezhim dostupa : <https://cyberleninka.ru/article/n/utlizatsiya-galvanicheskikh-shlamov-predpriyatij-saratovskogo-regiona-v-tovary-narodnogo-potrebleniya> (data obrasheniya : 4.01.2020).
15. Silva J.E. Leaching behaviour of a galvanic sludge in sulphuric acid and ammoniacal media / J.E. Silva, D. Soares [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2005. – V. B121. – P. 195–202.
16. Miškufova A. Hydrometallurgical route for copper, zinc and chromium recovery from galvanic sludge / A. Miškufova, T. Havlik [et al.] // *Acta Metallurgica Slovaca*. – 2006. – № 12. – P. 293–302.
17. Klischenko R.E. Izvlechenie cvetnykh metallov iz shlamov galvanicheskogo proizvodstva / R.E. Klischenko, Kosorukov A.A. [i dr.] // *Ekotekhnologii i resursoberezenie*. – 2010. – № 2. – S. 46–50.
18. Kuznecova O.N. Utilizatsiya shlamov galvanicheskogo proizvodstva [Elektronnyi resurs] / O.N. Kuznecova, V.V. Sergeev. – 2015. – Rezhim dostupa : <https://cyberleninka.ru/article/n/utlizatsiya-shlamov-galvanicheskogo-proizvodstva> (data obrasheniya : 4.01.2020).
19. Andreola F. Synthesis of chromium containing pigments from chromium galvanic sludges / F. Andreola, L. Barbieri [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2008. – V. 156. – P. 466–471.
20. Costa G. Malayaite ceramic pigments prepared with galvanic sludge as colouring agent / G. Costa, M.J. Ribeiro [et al.] // *Dyes and Pigments*. – 2008. – V. 78. – P. 157–164.
21. Andreola F. Physical-chemical characterization of a galvanic sludge and its inertization by vitrification using container glass / F. Andreola, L. Barbieri [et al.] // *WIT Transactions on Ecology and the Environment. Waste Management and the Environment*. – 2006. – V. 92. – URL : <https://doi:10.2495/WM060031> (date of application: 10.04.2020).
22. Magalhães J.M. Effect of experimental variables on the inertization of galvanic sludges in clay-based ceramics / J.M. Magalhães, J.E. Silva [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2004. – V. 106B. – P. 139–147.

23. Magalhães J.M. Role of the mixing conditions and composition of galvanic sludges on the inertization process in clay-based ceramics / J.M. Magalhães, J.E. Silva [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2004. – V. 106B. – P. 169–176.
24. Semenov V.V. Snizhenie ekologicheskoy opasnosti shlamov galvanicheskikh proizvodstv metodom ferritizatsii : avtoreferat dis. na soiskanie nauch. stepeni k.t.n. : 03.00.16 – ekologiya / V.V. Semenov. – Ulyanovsk, 2004. – 24 s.
25. Sinyushkin A.N. Utilizatsiya galvanicheskikh shlamov / A.N. Sinyushkin, Suprunchuk V.I. [i dr.] // *Voprosy himii i himicheskoy tekhnologii*. – 2012. – № 2. – S. 175–178.
26. Svyatohina V.P. Issledovanie reagentnogo metoda ochistki stochnykh vod ot ionov tyazhelykh metallov : avtoreferat dis. na soiskanie nauch. stepeni k.t.n. : 03.00.16 – ekologiya / V.P. Svyatohina – Ufa, 2002. – 23 s.
27. Kochetov H.M. Rozrobka tekhnologii utylizatsii produktiv ochystky promyslovykh stokiv metodom ferytyzatsii u matrytsi luzhnykh tsementiv [Elektronnyi resurs] / H.M. Kochetov, D.M. Samchenko [ta in.]. – Rezhym dostupu : <http://doi:10.15587/2312-8372.2018.152615> (data zvernennia : 1.11.2019).
28. Pérez-Villarejo L. Valorization and inertization of galvanic sludge waste in clay bricks / L. Pérez-Villarejo, S. Martínez-Martínez [et al.] // *Applied Clay Science*. – 2015. – V. 105–106. – P. 89–99.
29. Linqiang Mao. Addition of waste glass for improving the immobilization of heavy metals during the use of electroplating sludge in the production of clay bricks / Linqiang Mao, Wenyi Zhang // *Construction and Building Materials*. – 2018. – V. 163. – P. 875–879.
30. Starostina I. The usage of iron-containing sludge wastes in ceramic bricks production / I. Starostina, M. Simonov [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 365. – 2018. – URL : <https://doi:10.1088/1757-899X/365/3/032066> (date of application: 10.04.2020).
31. Vitkalova I. Industrial waste utilization in the panels production for high buildings facade and socle facing / I. Vitkalova, A. Torlova [et al.] // *E3S Web of Conferences* 33. – 2018. – URL : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302062> (date of application: 10.04.2020).
32. Bednarik V. Stabilization/solidification of galvanic sludges by asphalt emulsions / V. Bednarik, M. Vondruska, M. Koutny // *Journal of Hazardous Materials*. – 2005. – V. B122. – P. 139–145.
33. U Polonnomu pobuduiut zavod z vyrobnytstva keramichnoi plytky. 30.05.2018 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://newskm.net/publications> (data zvernennia : 9.04.2020).

Надійшла / Paper received: 10.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 03.06.2020

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИДУ ПАКУВАННЯ НА ТЕРМІН ПРИДАТНОСТІ ПИТНОГО ПАСТЕРИЗОВАНОГО МОЛОКА

В статті проведено аналіз основних чинників, які впливають на процес погіршення якості питного пастеризованого молока. Визначено правильність маркування, органолептичні та фізико-хімічні показники промислових зразків питного пастеризованого молока у пакуванні Pure-Pak Sense, ПЕТ плящі та плівковій упаковці. У ході роботи досліджено вплив пакування на термін придатності молока після порушення цілісності пакування при різних температурах зберігання. В результаті визначено, що молоко у плівковій упаковці більш стійке до скисання.

Ключові слова: пастеризоване молоко, пакування, порушення герметичності, термін придатності.

O. KUNIK, O. MOROZOVA, D. SARIBYEKOVA
Kherson National Technical University

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE TYPE OF PACKAGING ON THE EXPIRY DATE OF DRINKING PASTEURIZED MILK

The article analyzes the main factors influencing the deterioration of drinking pasteurized milk. All foods consist of primary biomaterials, which over time inevitably decompose and spoil. Deterioration of quality and spoilage of food cannot be prevented, but can slow down the process of deterioration by proper selection of recipes, methods of processing, packaging, storage and transportation of food. The shelf life of pasteurized milk while maintaining the integrity of the package and a constant storage temperature is determined by the type of packaging – packaging made of combined polymeric materials is more effective than polyethylene film. The aim of the study was to investigate the effect of the type of packaging on the shelf life of drinking pasteurized milk after violation of the integrity of the package at different storage temperatures. As objects of research in the work were selected 5 samples of drinking pasteurized milk – TM «Yagotynske» and TM «Farm» with a fat content of 2.5 – 2.6%, which differed in the type of packaging: Pure-Pak Sense, PET bottle and film packing from the combined polymeric materials. All milk samples, except for TM «Yagotynske» in Pure-Pak Sense packaging, are made according to DSTU 2661:2010 «Drinking cow's milk. General technical conditions». Caloric content and nutritional value of the studied samples of drinking milk are almost the same. The labeling of the tested samples of pasteurized drinking milk was performed correctly. When determining the organoleptic and physicochemical characteristics of industrial milk samples, it was determined that the tested samples of pasteurized drinking milk meet the requirements of DSTU 2661:2010 «Drinking cow's milk. General technical requirements». As a result of determining the effect of packaging on the shelf life of milk after opening at room temperature, it was found that at $T = 23^{\circ}\text{C}$ milk samples in the packaging of Pure-Pak Sense and PET bottle are fermented after 2 h 36 min. The sample of milk in a film package is fermented after 2 hours and 45 minutes. When determining the effect of packaging on the shelf life of milk after opening at low temperature ($T = 4^{\circ}\text{C}$), it was determined that the fermentation of milk in film packaging occurs in the following sequence: PET bottle (4 days); Pure-Pak Sense (8 days); film packing (13 days).

Key words: pasteurized milk, packaging, opening packaging, expiration date.

Постановка проблеми. Всі харчові продукти складаються з первинних біоматеріалів, які з часом неминуче розкладаються і псуються. Погіршенню якості і псуванню харчових продуктів запобігти неможливо, однак можна уповільнити процеси погіршення якості шляхом правильного підбору рецептур, способів технологічної обробки, пакування, зберігання і транспортування харчових продуктів [1].

Щоб правильно оцінити проблему псування харчових продуктів, в першу чергу, важливо зрозуміти, що означає термін «псування харчових продуктів», і які форми воно може приймати.

Зазвичай харчовий продукт вважається зіпсованим, якщо він стає непридатним для споживача. Псування є причиною виникнення проблем харчової безпеки, коли продукт може викликати захворювання споживача або навіть його смерть. Менш серйозні випадки псування можуть проявлятися в погіршенні кольору, смаку і аромату продукту до такого ступеня, коли він стає непридатним. Зазвичай псування супроводжується зниженням вмісту поживних речовин (наприклад, вітамінів) в харчовому продукті. Час, за який харчовий продукт перестає задовольняти хоча б одному з цих критеріїв, зазвичай називають «терміном зберігання харчового продукту» [2].

Харчові продукти відрізняються за способом маркування терміну зберігання на упаковці залежно від типу продукту, регіону і виробника. Зазвичай вказують термін реалізації продукту – sell-by-date («повинен бути реалізований до...») або best-if-used-by-date («використати до...») [3]. Ці відомості допомагають споживачеві визначити тривалість зберігання продукту перед його вживанням, а також полегшують керування обігом товарних запасів в продовольчих магазинах. Вважається, що виробники харчових продуктів проводять відповідні дослідження для визначення терміну зберігання своїх продуктів, причому зазначена дата передбачає дотримання належних умов зберігання продукту перед його реалізацією і вживанням. Важливо розуміти, яким видам псування може бути підданий даний продукт, як можна знизити темпи погіршення його якості і як правильно виміряти або виявити прояви процесів псування.

Процеси, що призводять до псування харчових продуктів, можуть бути класифіковані за трьома основними типами: фізичні, хімічні і мікробіологічні. Між цими трьома видами існує певна кореляція. Найчастіше псування, викликане протіканням процесів певного типу, може сприяти розвитку псування іншого типу. Основні механізми псування або зниження якості молочних харчових продуктів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Процеси погіршення якості (псування харчових продуктів)
і основні чинники, що впливають на ці процеси**

Харчовий продукт, категорія	Процеси погіршення якості. Види псування	Фактори
Молоко	Окислення, згірнення, зростання мікроорганізмів	Кисень, температура
Сухе молоко	Окислення, потемніння, комкування	Кисень, вологість, температура
Морозиво	Утворення і зростання кристалів льоду і лактози, окислення	Температура (заморожування / розморожування), кисень
Молочні продукти	Окислення, згірнення, кристалізація лактози	Кисень, температура

Для харчових продуктів доцільно виділити основні фактори, які мають вплив на тривалість зберігання й визначають вид псування. Майже для всіх груп товарів це температура й відсутність суттєвих її коливань, відносна вологість і кисень повітря приміщення, в якому зберігається харчовий продукт, а також вид матеріалу та споживчої тари [4, 5]. Для окремих товарів, наприклад, тих, що містять у своєму складі жири, додатково значний вплив на збереження якості відіграє світло, на молочні продукти – технологія теплової обробки, на фрукти й овочі – механічні пошкодження під час товарної обробки й транспортування тощо. Усі ці чинники зумовлюють і прискорюють процеси, що протікають у харчових продуктах під час зберігання: окиснення, згірнення, міграція вологи, кристалізація речовин, ріст мікроорганізмів тощо.

Розглянемо чинники, які впливають на термін придатності молочних харчових продуктів, зокрема питного пастеризованого молока. Згідно з ДСТУ 2661:2010 «Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови» [6] молоко пастеризоване зберігають за температури $4\pm 2^{\circ}\text{C}$: у пакетах з поліетиленової плівки – не більше ніж 72 год; у пакетах з комбінованого матеріалу, пляшках з полімерного матеріалу – не більше ніж 7 діб. Тобто термін придатності пастеризованого молока при збереженні цілісності пакування та сталій температурі зберігання визначається видом пакування – пакування з комбінованих полімерних матеріалів більш ефективне ніж поліетиленова плівка. Науковий інтерес представляє дослідження впливу виду пакування на термін придатності пастеризованого молока після порушення цілісності пакування, оскільки при порушенні герметичності до вагомих чинників, що впливають на процес погіршення якості, додається відносна вологість, кисень та світло середовища, в якому зберігається харчовий продукт.

Формулювання мети дослідження. Мета роботи полягала у дослідженні впливу виду пакування на термін придатності питного пастеризованого молока після порушення цілісності пакування при різних температурах зберігання.

Виклад основного матеріалу. У якості об'єктів дослідження в роботі було обрано 5 зразків питного пастеризованого молока – ТМ «Яготинське» та ТМ «Ферма» жирністю 2,5–2,6%, які відрізнялись між собою видом пакування: Pure-Pak Sense, ПЕТ пляшка та плівкова упаковка з комбінованих полімерних матеріалів. Характеристика досліджуваних зразків питного пастеризованого молока представлена в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристика маркування досліджуваних зразків питного пастеризованого молока

Параметр	Зразок				
	1	2	3	4	5
Торгова марка	«Яготинське»			«Ферма»	
Упаковка	Pure-Pak Sense	ПЕТ пляшка	плівкова упаковка	ПЕТ пляшка	плівкова упаковка
Склад	Молоко коров'яче незбиране, молоко коров'яче знежирене				
Жирність	2,6			2,5	
Умови зберігання, зазначені на упаковці	2 – 6°C, не більше 10 діб		2 – 6°C, не більше 7 діб	4 ± 2°C, не більше 10 діб	2 – 6°C, не більше 7 діб
Калорійність на 100 г продукту, кДж/ккал	226/54	221/53	221/53	220/53	221,1/53
Харчова цінність на 100 г продукту (б/ж/в), г	2,8/2,6/4,7			2,8/2,5/4,7	2,9/2,5/4,7
Нормативний документ	ТУ У 15.5-19492247-0,25-2004	ДСТУ 2661:2010		ДСТУ 2661:2010	
Маса нетто, г	900			840	900
Ціна, грн.	27,56	30,89	22,90	28,02	21,03
Завод-виготівник	ПАТ «Яготинський маслозавод», м. Яготин, Київська обл. (Україна)			ТОВ «Білоцерковський молочний комбінат», с. Томилівка, Білоцерковський р-н, Київська обл. (Україна)	

Аналіз представлених даних маркування (табл. 2) свідчить, що молоко у плівковій упаковці має найменший термін придатності – не більше 7 діб при понижений температурі, молоко у пакуванні Pure-Pak Sense та ПЕТ пляшках можна зберігати до 10 діб також при понижений температурі 2–6°C.

Слід відмітити, що досліджувані зразки пастеризованого молока згідно з маркуванням не містять солей, які зазвичай вносять при виробництві для стабілізації молока, у складі зазначено лише молоко коров'яче незбиране та молоко коров'яче знежирене.

Усі зразки молока, окрім ТМ «Яготинське» у пакуванні Pure-Pak Sense, виготовлені за ДСТУ 2661:2010 «Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови».

Калорійність та харчова цінність досліджуваних зразків питного молока практично однакові.

На першому етапі роботи було перевірено правильність маркування досліджуваних зразків пастеризованого питного молока (табл. 3).

Таблиця 3

Перевірка маркування досліджуваних зразків питного пастеризованого молока за ДСТУ 2661:2010

Показник	Зразок				
	1	2	3	4	5
Назва продукту	+	+	+	+	+
Вид молока із зазначенням масової частки жиру	+	+	+	+	+
Назва, повна адреса і номер телефону підприємства-виробника та місце виготовлення	+	+	+	+	+
Товарний знак виробника (за наявності)	+	+	+	+	+
Маса нетто одиниці пакування г (кг) або об'єм, см ³ (дм ³)	+	+	+	+	+
Склад продукту у порядку переваги складників	+	+	+	+	+
Харчова (поживна) цінність (вміст білків, жирів, вуглеводів) та енергетична цінність (калорійність) (у кДж і/або ккал) на 100 г продукту	+	+	+	+	+
Кінцева дата споживання «Вжити до» або дата виробництва (число місяць, рік) та строк придатності	+	+	+	+	+
Умови зберігання	+	+	+	+	+
Номер партії	+	+	+	+	+
Позначення стандарту або ТУ	+	+	+	+	+

Аналіз представлених даних (табл. 3) свідчить, що маркування досліджуваних зразків питного пастеризованого молока виконано правильно. Слід відмітити, що на упаковці Pure-Pak Sense зразка молока ТМ «Яготинське» міститься позначка «Кошер». Кошерна їжа – їжа, приготована відповідно до єврейських релігійних традицій.

Далі в роботі проводилося органолептичне дослідження зразків пастеризованого питного молока (табл. 4).

Таблиця 4

Органолептичні показники досліджуваних зразків питного пастеризованого молока

Показник	Характеристика				
	1	2	3	4	5
Зовнішній вигляд та консистенція	Однорідна рідина без осаду, пластівців білка та грудочок жиру				
Запах	Чистий без сторонніх, не притаманних свіжому молоку запахів				
Смак	Легкий присмак пастеризації				
Колір	Білий, рівномірний за всією масою				

Під час проведення органолептичного дослідження (табл. 4) встановлено, що досліджувані зразки молока не містять сторонніх смаку та запаху, консистенція та колір мають відмінні характеристики. Слід відмітити незначну різницю смаку зразків молока – молоко ТМ «Ферма» має більш виражений молочний смак.

Фізико-хімічні показники досліджуваних у роботі зразків питного пастеризованого молока, визначені за ДСТУ 2661:2010 «Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови», представлено в табл. 5.

Таблиця 5

Фізико-хімічні показники досліджуваних зразків питного пастеризованого молока

Показник	Зразок					Норма за ДСТУ 2661:2010
	1	2	3	4	5	
Масова частка жиру, %	2,8	2,9	2,8	2,7	2,7	Від 1,0 до 6,0 включ.
Масова частка білка, %, не менше ніж	2,80				2,90	2,80
Титрована кислотність, °Т, не більше ніж	17,0	18,5	17,0	19,0	17,5	21
Густина, кг/м ³ , не менше ніж	1030			1028	1030	1027
Пероксидаза	Відсутня					Відсутня

Отримані дані (табл. 5) свідчать, що досліджувані зразки питного пастеризованого молока відповідають вимогам ДСТУ 2661:2010 «Молоко коров'яче питне. Загальні технічні вимоги».

На наступному етапі було проведено визначення впливу пакування на термін придатності пастеризованого молока після відкриття. Для цього у зразках ТМ «Яготинське» при кімнатній температурі (Т = 23°C) раз на годину визначалася титрована кислотність до досягнення значення кислотності $\geq 21^{\circ}\text{T}$ (рис. 1).

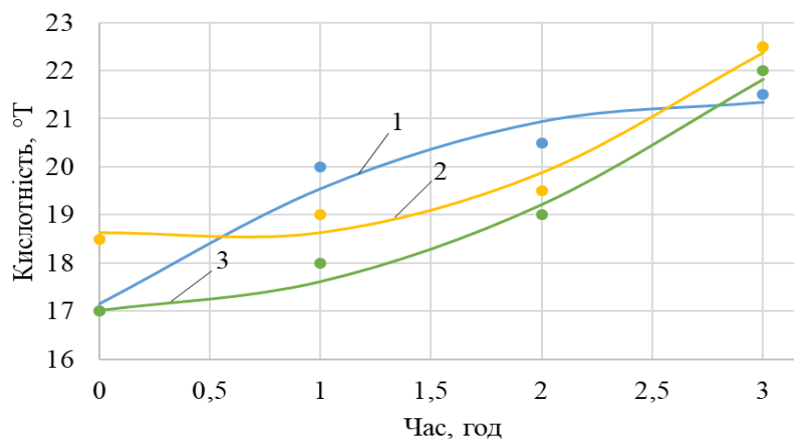


Рис. 1. Залежність кислотності молока ТМ «Яготинське» від часу при T=23°C:

1 – Pure-Pak Sense:

$$Y = 17,15 + 2,90 \cdot X - 0,50 \cdot X^2$$

S = 0,3436; R2 = 0,9881;

2 – ПЕТ пляшка:

$$Y = 18,63 - 0,63 \cdot X + 0,63 \cdot X^2$$

S = 0,5590; R2 = 0,9837;

3 – плівкова упаковка:

$$Y = 17,01 + 0,10 \cdot X + 0,50 \cdot X^2$$

S = 0,4472; R2 = 0,9928.

Згідно з отриманими даними (рис. 1) при T = 23°C зразки молока 1 (Pure-Pak Sense) та 2 (ПЕТ пляшка) сквашуються через 2 год 36 хв. Зразок молока 3 (плівкова упаковка) сквашується через 2 год 45 хв.

Також у роботі проводилося аналогічне дослідження при зниженій температурі 4°C. Кислотність у молоці визначалася раз на добу (рис. 2).

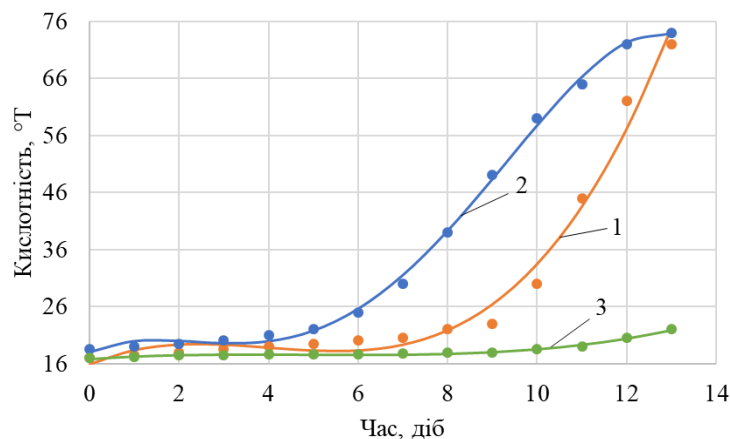


Рис. 2. Залежність кислотності молока ТМ «Яготинське» від часу при T=4°C:

1 – Pure-Pak Sense:

$$Y = 15,84 + 3,41 \cdot X - 1,00 \cdot X^2 + 0,08 \cdot X^3$$

S = 2,5890; R2 = 0,9919;

2 – ПЕТ пляшка:

$$Y = 17,97 + 3,47 \cdot X - 1,85 \cdot X^2 + 0,33 \cdot X^3 - 0,01 \cdot X^4$$

S = 1,0050; R2 = 0,9992;

3 – плівкова упаковка:

$$Y = 16,86 + 0,55 \cdot X - 0,12 \cdot X^2 + 0,01 \cdot X^3$$

S = 0,1634; R2 = 0,9947.

Аналіз отриманих даних свідчить, що молоко у ПЕТ пляшці сквашується найшвидше – на четвертій добі зберігання. Сквашування молока у пакуванні Pure-Pak Sense відбувається на восьмій добі зберігання.

Слід звернути увагу, що про аномальну поведінку молока у плівковій упаковці, сквашування якого відбулося через тринадцять діб після зберігання при температурі 4°C. Такий результат можна пояснити можливою наявністю консервантів.

Висновки. 1. В ході дослідження органолептичних та фізико-хімічних характеристик промислових зразків молока визначено, що досліджувані зразки питного пастеризованого молока відповідають вимогам ДСТУ 2661:2010 «Молоко коров'яче питне. Загальні технічні вимоги».

2. В результаті визначення впливу пакування на термін придатності молока після відкриття при кімнатній температурі встановлено, що при T = 23°C зразки молока у пакуванні Pure-Pak Sense та ПЕТ пляшці сквашуються через 2 год 36 хв. Зразок молока у плівковій упаковці сквашується через 2 год 45 хв.

3. Під час вивчення впливу пакування на термін придатності молока після відкриття при зниженій температурі ($T = 4^{\circ}\text{C}$) визначено, що сквашування молока у плівковій упаковці відбувається у наступній послідовності:

- 1 – ПЕТ пляшка – 4 доби;
- 2 – Pure-Pak Sense – 8 діб;
- 3 – плівкова упаковка – 13 діб.

Література

1. Срок годности пищевых продуктов. Расчет и испытание / [под. ред. Р. Стеле ; пер. с англ. В. Широкова ; под общ. ред. Ю.Г. Базарновой]. – СПб : Профессия, 2006. – 480 с.
2. Фролова Н.Е. Сучасні способи визначення термінів зберігання харчових продуктів і шляхи їх розвитку / Н.Е. Фролова // Наукові праці НУХТ. – 2018. – Том 24, № 5. – Р. 171–180.
3. Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів : закон України // Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2019. – № 7. – Ст. 41.
4. Коваль О. Кінетична теорія моделювання якості й прогнозування терміну придатності харчових продуктів / О. Коваль, В. Гуць // Товари і ринки. – 2008. – № 2. – С. 67–74.
5. Українець А.І. Інновації в технології зберігання і пакування харчових продуктів / А.І. Українець, В.М. Пасічний, А.І. Маринін, О.В. Храпачов // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2016. – № 2 (94). – С. 58–62.
6. Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови : ДСТУ 2661:2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://ukrapk.com/gosts/milk/dsty_26612010_moloko_korovyache_pitne.html

References

1. Srok godnosti pishevyh produktov. Raschet i ispytanie / [pod. red. R. Stele ; per. s angl. V. Shirokova ; pod obsh. red. Yu.G. Bazarnovoj]. – SPb : Professiya, 2006. – 480 s.
2. Frolova N.E. Suchasni sposoby vyznachennia terminiv zberihannia kharchovykh produktiv i shliakhy yikh rozvytku / N.E. Frolova // Naukovi pratsi NUKhT. – 2018. – Tom 24, № 5. – R. 171–180.
3. Pro informatsiiu dlia spozhyvachiv shchodo kharchovykh produktiv : zakon Ukrainy // Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR). – 2019. – № 7. – St. 41.
4. Koval O. Kinyetchna teoriia modeliuvannia yakosti y prohnozuvannia terminu prydatnosti kharchovykh produktiv / O. Koval, V. Huts // Tovary i rynky. – 2008. – № 2. – S. 67–74.
5. Ukrainets A.I. Innovatsii v tekhnolohii zberihannia i pakuvannia kharchovykh produktiv / A.I. Ukrainets, V.M. Pasichnyi, A.I. Marynin, O.V. Khrapachov // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. – 2016. – № 2 (94). – S. 58–62.
6. Moloko koroviache pytne. Zahalni tekhnichni umovy : DSTU 2661:2010 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://ukrapk.com/gosts/milk/dsty_26612010_moloko_korovyache_pitne.html

Надійшла / Paper received: 07.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 04.06.2020

УДК 685.34.013

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-38

О. А. МИХАЙЛОВСЬКА, А. Б. ДОМБРОВСЬКИЙ, Г. Є. ЛОБАНОВА

Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ І ПЛАНУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЖІНОЧИХ СУМОК ПРИ ФОРМУВАННІ ПЕРСПЕКТИВНОЇ КОЛЕКЦІЇ

У статті досліджено, що для створення нової колекції жіночих сумок необхідно повною мірою врахувати вподобання споживачів, напрямки сучасної моди та вимоги багатофункціональності виробів. На основі результатів проведеного анкетування жінок встановлено найвагоміші аспекти властивостей жіночих сумок, а саме їх форма, розміри, колір, спосіб закривання, вид матеріалу. Для створення багатофункціональних сумок запропоновано використання трансформації та модульного проектування за рахунок використання композиційно-конструктивних елементів, деталей-модулів та конструкцій, які можна додавати, замінювати та перетворювати. Такий підхід створює значні можливості щодо використання споживачами не кількох сумок різних кольорів, форм, конфігурацій та розмірів, а однієї, тим самим зменшуючи надмірне споживання, а отже зменшуючи перевиробництво продукції.

Ключові слова: анкетування, трансформація, модульне проектування, багатофункціональність, естетичні показники, конструктивні показники, конструкція, композиційно-конструктивні елементи

O. MYKHAILOVSKA, A. DOMBROVSKY, H. LOBANOVA

Khmelnitsky Natsionalny Universitet

ANALYSIS AND PLANNING OF WOMEN'S BAGS QUALITY INDICATORS WHEN FORMING A PERSPECTIVE COLLECTION

Created in the 90s of the twentieth century, the world of "intensive development of consumption" laid the conditions for the current global crisis. This crisis is not financial and is not related to overproduction in the financial sector. This is a systemic crisis of overconsumption, which covers all sectors of society - the production of material, virtual goods and services, the financial sector, marketing and advertising, government policy and public services.

To overcome it, it is necessary to limit excessive consumption and direct the efforts of marketing links in advertising to moderate consumption, reducing entertainment and recreation. In this aspect, it is important to create an appropriate functional material sphere.

The article investigates that in order to create a new collection of women's bags, it is necessary to take full account of consumer preferences, trends of modern fashion and requirements of multifunctionality of products. Based on the results of the questionnaire conducted by women, the most important aspects of the properties of women's handbags, namely their shape, size, color, type of material, were established. To create multifunctional bags, it is proposed to use transformation and modular design by using composite elements, module parts and structures that can be added, replaced and transformed.

This approach creates significant opportunities for consumers to use not several bags of different colors, shapes, configurations and sizes, but one, thereby reducing over consumption and therefore reducing product overproduction.

Keywords: questionnaire, transformation, modular design, multifunctionality, aesthetic indicators, design indicators, design, composite elements

Постановка проблеми. У 90-ті роки ХХ століття було створено світ "інтенсивного розвитку споживання". Реклама просто шаленіла від надмірного втовкмачування споживати одночасно багато товарів та декілька послуг; відпочивати не раз на рік, а декілька разів; брати кредити, брати великі кредити, брати декілька кредитів; любити гламур, змінюючи менш гламурні речі на більш гламурні – і споживачі майже всі споживали надміру, брали кредити, любили гламур і хизувалися цим, витрачаючи дедалі більше ще не зароблених грошей, – так було закладено умови нинішньої кризи. Ця криза не фінансова і не пов'язана з надвиробництвом у фінансовому секторі. Сам по собі фінансовий сектор не може видавати стільки кредитів, як це відбувається сьогодні, без маркетингово-рекламного комплексу. Отже це – системна криза надспоживання (англійською – crisis of overconsumption), яка охоплює всі сектори суспільства – виробництво матеріальних, віртуальних товарів та послуг, фінансовий сектор, маркетингово-рекламний комплекс, урядової політики та сфери державних послуг. Оскільки це криза надспоживання, то для її подолання необхідно обмежити надмірне споживання. Держава має чесно та недвозначно спрямувати зусилля маркетингових посилянь у рекламі на помірне споживання, зменшення розваг та відпочинку, вибір не гламурних, а функціональних товарів та послуг. Зрозуміло, в такому аспекті актуальним є створення відповідної функціональної матеріальної сфери. При створенні шкіргалантерейних виробів, зокрема жіночих сумок, їх функціональності можна досягнути шляхом застосування принципів трансформації та модульного проектування вже на етапі розробки асортименту.

Аналіз останніх джерел. Розуміння потреб покупця і процесу прийняття ним рішень про покупку товару є запорукою успіху подальшої маркетингової діяльності підприємства, що в першу чергу залежатиме від модельєра-конструктора, адже саме він має вивчати потреби покупців та задовольняти їх.

Вимоги споживачів визначають часту змінюваність асортиментів, що вимагає великої оперативності на стадії проектування й підготовки виробництва та особливо високої точності прогнозування при формуванні перспективної колекції, планування і аналізу показників якості [1].

Завдяки сучасним технічним розробкам явище багатофункціональності все глибше проникає у свідомість споживача. Підвищення багатофункціональності – одна з провідних тенденцій розвитку сучасного життя. Розвиток багатофункціональності відбувається в напрямку «Від однієї функції – до+

багатофункціональності, від багатофункціональності – до функціональної повноти». Існує кілька десятків способів досягнення багатофункціональності, з яких найбільше використовуються: об'єднання носіїв функцій та трансформація.

В науковій літературі різних напрямків можна побачити відомості про трансформації [2-4]. Це дає можливість усвідомити, що проектування виробів з видозміненою структурою, завжди було важливим напрямком в формоутворенні предметного світу. З ним було пов'язано багато найважливіших функцій людської життєдіяльності. Таким чином, принцип трансформації має фундаментальне значення у формоутворенні сучасних виробів різного призначення, а сама трансформація існує і як частина художньої моделі світу, і як одна з ланок творчого процесу.

Мета роботи полягає у розробці асортименту багатофункціональних жіночих сумок шляхом трансформації та модульного проектування за рахунок використання композиційно-конструктивних елементів, деталей-модулів та конструкцій, які можна додавати, замінювати та перетворювати, враховуючи визначені шляхом досліджень найвагоміших для споживачів властивостей жіночих сумок, що дасть можливість попередити надмірне споживання, а отже, і перевиробництво продукції.

Виклад основного матеріалу. Модульне проектування привертає увагу фахівців різних областей і простежується при вирішенні як великих проектних завдань, так і в промальовуванні і деталізації конструкцій об'єктів. Форма виробів і метод її створення змушують розробників постійно стикатися з модульним проектуванням, комбінаторикою та іншими процесами формоутворення – практично всі проектні процедури, починаючи з роботи дизайнера над окремими елементами і параметрами форми, є безперервним творчим потоком пошуку комбінаторних рішень. Обмеження і виділення конструкцій, деталей, вузлів викликано спробами виробництва обмежити конструктивний ряд і технологічно обгрунтовані елементи, при цьому орієнтуючись на показники якості і зовнішній вигляд моделей.

Модульне проектування в формоутворенні промислових виробів є частиною універсального механізму утворення форм у творчості. Завдяки застосуванню даного методу, ми отримуємо не тільки нескінченну різноманітність форм, а й економічну ефективність процесу, оскільки багато форм є суттю похідних від поєднання одних і тих самих вихідних елементів. Історико-аналітичне дослідження формоутворення повністю підтвердило і проілюструвало загальні характеристики процесу. Умовами модульного проектування є наявність творчої ідеї, комбінованих елементів, правил проведення процесу і кінцевої мети (отримання об'єкта з заданими властивостями). Основні операції, за допомогою яких створюються поєднання при модульному проектуванні, можна розділити на три основні групи: 1) вибір і заміна елементів (відповідно до показників технічної естетики і якості); 2) зміна якостей окремих елементів (конфігурацій, розмірів, фактури, кольору); 3) композиційне позиціонування елементів.

Сумка завжди була і донині залишається вкрай необхідним і популярним аксесуаром у гардеробі сучасних чоловіків і жінок. Форма і дизайн ідуть в ногу з часом, намагаючись повною мірою задовольнити смаки і потреби сучасних людей.

З давнини сумка вважалася необхідним та зручним аксесуаром, який супроводжував жінку будь-де. Використання цього аксесуару і до сьогоднішнього часу дозволяє жінці почуватися більш впевнено за межами житла в будь-якому місці та в будь-який час. Це зумовлено тим, що сумка завжди містить безліч потрібних та непотрібних дрібниць, які жінка звикла використовувати в повсякденному житті.

Отже, сумка – це справжнє сховище, вміст та зовнішній вигляд якого віддзеркалюють внутрішній світ сучасної жінки, тому вона повинна бути не тільки функціональною, але й красивою. Добре, якщо, як і будь-який інший аксесуар, вона буде оригінальною, відображатиме індивідуальність власниці, особливості її характеру, власні уподобання, смаки, можливо навіть мрії.

При прогнозуванні попиту на продукцію, що розробляється та визначенні найбільш затребуваного виду сумки, яка відповідає вимогам споживача, показники естетичних властивостей виробу не піддаються безпосередньому виміру. Тому при визначенні їх вагомості використано експертний метод [5]. Оскільки без статистичних даних, які складають основу для зміни конструкції, форми, колірного рішення, фактури та інших показників властивостей виробів, виготовлення якісних сумок неможливе, тому з метою виявлення кількісних значень вагомості показників, які здійснюють суттєвий вплив на вибір сумок та інших виробів легкої промисловості було проведено закриті анкетування, яке дало респондентам можливість вибрати одну або декілька відповідей із запропонованих варіантів. Експертні оцінювання проводилися групою експертів-споживачів у точках оптово-роздрібної торгівлі сумками. При визначенні кількості експертів керувалися правилами вибіркового соціологічного дослідження і експертних опитувань [6-7]. Кількість респондентів – жінки віком від 20 до 30 років, обрана для створення чіткої картини у виборі асортименту модульних сумок для проектування, і достатня для отримання достовірної інформації. Анкета опитування містила питання стосовно функціональності, дизайну, кольорової гами, оздоблення, фактури поверхні, форми, розміру, матеріалів, застібок та необхідної для жінок кількості сумок:

X1 – форма сумок: квадратна, прямокутна; кругла; трапецієподібна.

X2 – зовнішній вигляд; функціональність сумки.

X3 – колірне рішення сумок: яскраві (жовтий, рожевий, зелений тощо); нейтральні (чорний, білий, сірий, беж); пастельні; різні кольори, які є у вашому гардеробі.

X4 – розмір сумки: великий; середній; малий.

X5 – дизайн сумки: мінімалістичний; з кількома деталями; помпезний.

X6 – матеріали для сумки: натуральна шкіра; штучна або синтетична шкіра; текстиль.

X7 – вид застіжки: на клапан; застіжка-«блискавка»; рамковий рамок; без застіжки.

X8 – кількість сумок: 1-3; 3-5; 6 та більше.

X9 – декоративне оздоблення: накладні елементи декору; декоративна фурнітура; декоративні строчки; без оздоблення.

X10 – фактура поверхні сумок: гладка поверхня; тиснена поверхня; ворсова поверхня; лакована поверхня.

За допомогою проведеного опитування та математичної обробки отриманих результатів були визначені найвагоміші показники властивостей сумок, які задовольняють вимоги споживачів (рис. 1).

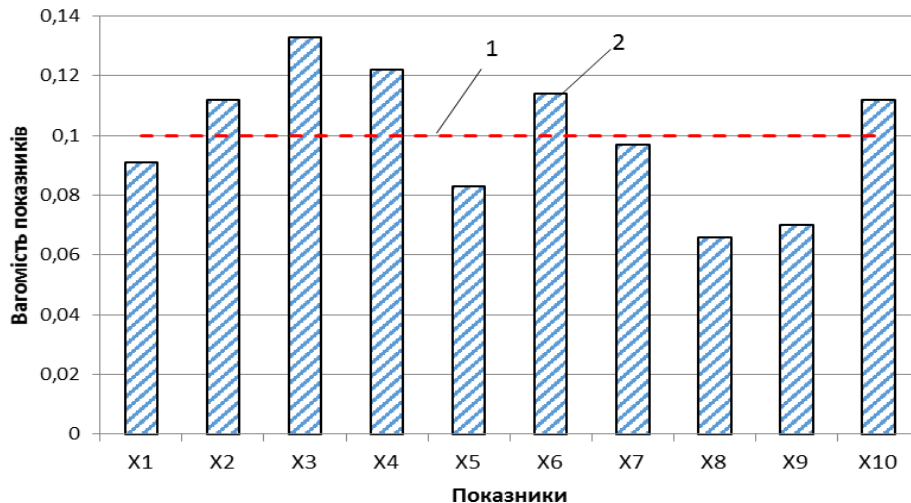


Рис. 1. Діаграма вагомості показників властивостей сумок: 1 – рівень вагомості показників групи експертів; 2 – вагомість показників.

Респондентам при опитуванні пропонувалося не тільки обрати важливий для них показник, але й охарактеризувати його, оскільки ця інформація дозволить детальніше визначити, який саме матеріал, розміри, форму, стиль, колірну гаму, вид застіжки необхідно вибрати при розробці колекції сумок.

Аналіз результатів проведеного опитування показав, що експерти в першу чергу виділили такі найвагоміші показники: зовнішній вигляд, розміри, кольорова гама, матеріал та фактура матеріалу сумки (рис. 2-6).

Більшість експертів (57 %), оскільки це молоді жінки віком від 20 до 30 років, при опитуванні вибрали вагомим таким показник, як зовнішній вигляд сумки. Проте різниця у відсотках у вподобаннях між респондентами при наданні переваги окремій характеристиці не значна. Для багатьох жінок (43 %) функціональність сумки – важливий показник (рис. 2).

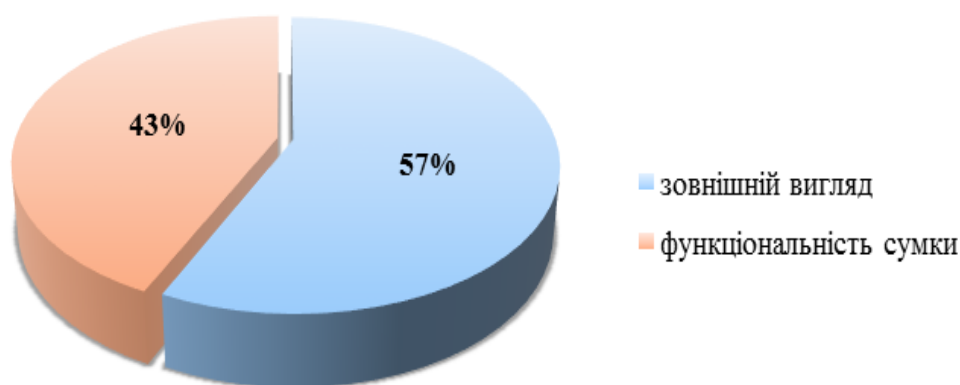


Рис. 2. Розподіл уподобань жінок щодо зовнішнього вигляду та функціональності сумок

Щодо кольорової гами сумок – найбільшим попитом (39 %) користуються нейтральні: чорний, білий, сірий, бежевий (рис. 3). Такі кольори дають змогу легше підібрати сумку для свого гардеробу. Великий відсоток опитуваних жінок проголосували також за різноманітну кольорову (32 %) гаму та пастельні відтінки (22 %).

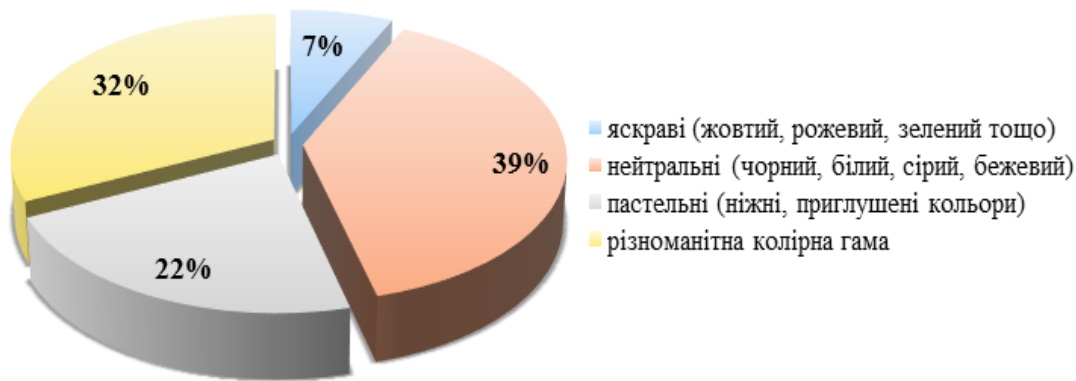


Рис. 3. Розподіл уподобань жінок щодо кольорової гами сумок (колірної)

Переважає більшість опитуваних експертів (47 %) обирають сумку великого розміру, не лише тому, що є потреба у перенесенні предметів великих розмірів, але й тому, що такі моделі є модним трендом у нинішньому сезоні (рис. 4).

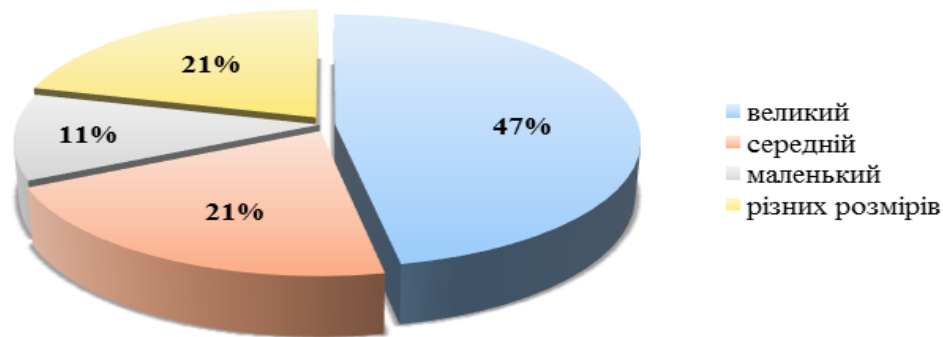


Рис. 4. Розподіл уподобань жінок щодо розмірів сумок

При виборі виду матеріалу – думки експертів розділились порівну (43 %) між сумками з натуральної шкіри та зі штучних і синтетичних матеріалів (рис. 5). Очевидно, це обумовлено тим, що зараз на ринку з'явилося багато штучних та синтетичних шкір хорошої якості і, в той же час, дешевших, ніж натуральні. Тому споживачі часто обирають виріб із позицій відповідності ціна-якість.

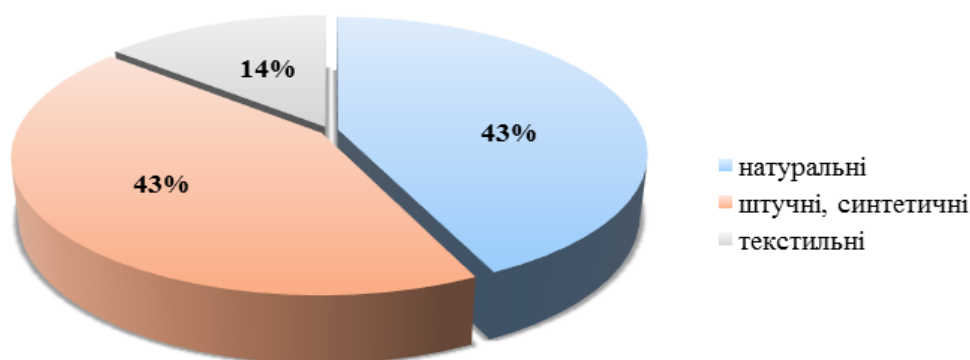


Рис. 5. Розподіл уподобань жінок щодо виду матеріалу сумок

Результати опитування респондентів за показником фактура поверхні матеріалу показали, що думки експертів-споживачів значно розділились. Найбільшою популярністю користуються сумки з гладкою поверхнею (38 %), а уподобання між виробами з лакованою (28 %) та тисненою поверхнею (24 %) розділилися не значно. Найменше затребувані (за результатами опитування) сумки із ворсової шкіри. Ймовірно, цей вибір зроблено з практичної точки зору споживача.

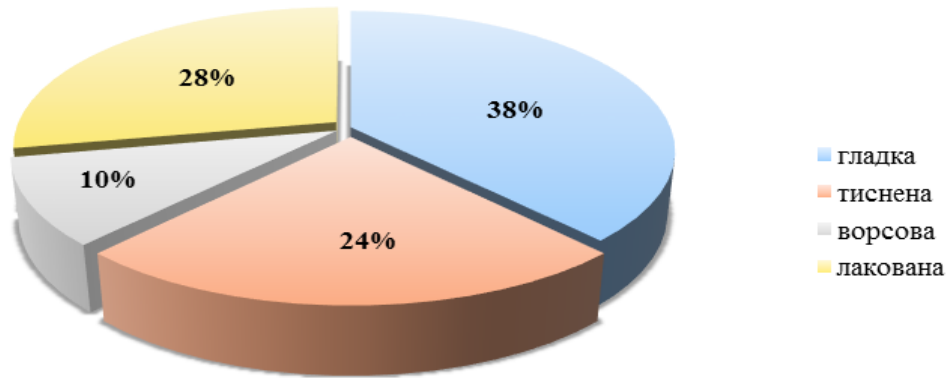


Рис. 6. Розподіл уподобань жінок щодо фактури поверхні матеріалу сумок

При обробці результатів дослідження уподобань споживачів (жінок віком від 20 до 30 років) виявлено найвагоміші показники властивостей сумок, що найбільше впливають на популярність тієї чи іншої моделі серед споживачів. Характеристика цих показників дозволить детальніше визначити, які саме: вид матеріалу, фактуру поверхні, колірну гаму, – потрібно використовувати при створенні в подальшому асортименту жіночих модульних сумок. Оскільки з метою отримання інформації для розробки актуального асортименту сумок досліджувалися уподобання молодих жінок віком від 20 до 30 років, то респонденти виділили великий розмір виробу, щодо матеріалів: натуральну шкіру та штучні і синтетичні матеріали, щодо колірної гами: сумки нейтральних кольорів та різноманітної колірної гами з гладкою поверхнею.

Отже, найвагоміші показники властивостей сумок характеризують вироби з точки зору естетичності та відповідності модним тенденціям.

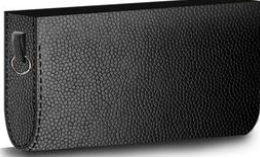
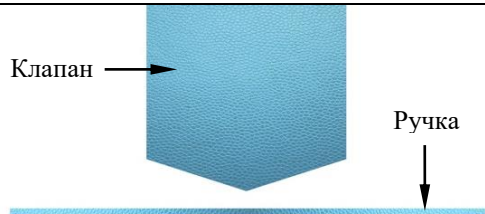
Функціональність сумок може бути досягнута шляхом розробки модульних конструкцій. Це дозволить змінювати форморозміри сумок. Також використання модулів розширює можливості зміни естетичних властивостей сумок у відповідності до потреб споживача.

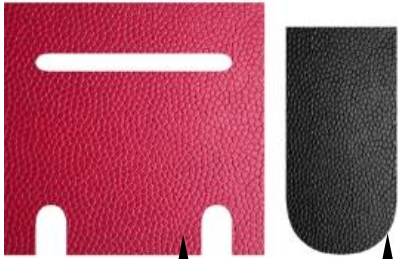
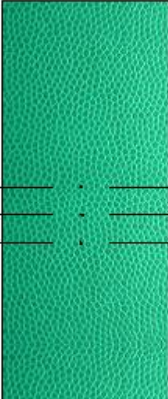
На основі уподобань споживачів рекомендовано виробникам створити асортимент модульних конструкцій сумок, для яких характерними будуть такі показники властивостей: прямокутна і квадратна форми, великий розмір виробу, щодо матеріалів: з натуральної шкіри та штучних і синтетичних матеріалів, щодо кольорової гами: нейтральних кольорів та різноманітної кольорової гами, з гладкою поверхнею.

Приклад конструкцій сумок з розробленого асортименту представлений у таблиці 1.

Таблиця 1

Приклади модульних конструкцій жіночих сумок

Основний модуль	Змінні модулі: клапан і ручка (форма клапана і колір клапана та ручки)	Готовий виріб (змінюється зовнішній вигляд)
 Корпус сумки	 Клапан → Ручка	
	 Клапан → Ручка	

Основний модуль	Змінні модулі: клапан і клинчик (форма, розмір і колір клапана та розмір клинчика)	Готовий виріб (змінюються зовнішній вигляд та функціональність)
 Корпус сумки	 Клапан Клинчик	
	 Клапан Клинчик	
 Корпус сумки	Змінні модулі: деталь стінки (розмір і колір деталі стінки)  Деталь стінки	Готовий виріб (змінюються: зовнішній вигляд та функціональність) 
	 Деталь стінки	

Висновки. Проведені дослідження уподобань споживачів (жінок віком від 20 до 30 років) виявили найвагоміші показники властивостей сумок, що найбільше впливають на популярність тієї чи іншої моделі при покупці у сезоні 2020-2021.

Отримані відомості щодо найвагоміших показників властивостей жіночих сумок дозволять вже на етапі художнього проектування асортименту вирішити питання створення якісних з точки зору естетичності виробів, що може сприяти маркетинговому успіху продукції на ринку відповідних товарів.

Естетична якість виробів (жіночих сумок) та їх функціональність досягнуті ще й завдяки створенню модульних конструкцій з їх перевагами для довкілля, оскільки досягнута багатфункціональність сумок зменшує постійні потреби у нових виробках, а отже, попереджує надмірне споживання, і відповідно – перевиробництво продукції.

Література

1. Гиссин В.И. Управление качеством продукции / В.И. Гиссин. – Ростов н/Д: Феникс, 2000. – 265с.
2. Семенова В. В. Теоретические и методологические основы дизайна кожгалантерейных изделий (модульное проектирование) : диссертация ... доктора технических наук : 17.00.06 / Виктория Викторовна Семенова; [Место защиты: Московский государственный университет дизайна и технологии]. – М.: МГУДТ. – 2009. – 342 с.
3. Виляева А. А. Исследование и анализ применения модульной системы в проектировании промышленного ассортимента различных изделий и обуви / А. А. Виляева, Г. А. Бастов // Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг: международный сборник научных трудов / редкол. В.Т. Прохоров [и др.]; Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) федер. гос. бюджет. образоват. учрежд. высшего проф. образования "Донской гос. техн. ун-т" в г. Шахты Рост. обл. (ИСОиП (филиал) ДГТУ. – Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2014. – С.91-94.
4. Михайловська О. А. Художньо-конструктивні ознаки та параметри формотворення модульного взуття / О. А. Михайловська, А. Б. Домбровський. // Легка промисловість. Індустрія моди. – 2018. – №2. – С. 48–52.
5. Грабовецкий Б.С. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання: монографія / Б.С. Грабовецкий – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 171 с.
6. Кернеш В. П. Дослідження естетичних властивостей взуття методом опитування та ранжування / В. П. Кернеш., Н. М. Омельченко, В. П. Коновал // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – №6. – С.209-212.
7. Лобанова Г. Є. Дослідження чинників, що впливають на формування асортименту дитячого взуття / Г. Є. Лобанова, О. В. Ковалюк. // Вісник КНУТД. – 2017. – №3. – С. 91–97.

References

1. Hyssyn V.Y. Upravlenye kachestvom produktsyy / V.Y. Hyssyn. – Rostov n/D: Fenyks, 2000. – 265s.
2. Semenova V. V. Teoretycheskiye y metodolohicheskiye osnovy dyzaina kozhhalantereynykh yzdeliy (modulnoe proektyrovanye) : dyssertatsiya ... doktora tekhnicheskikh nauk : 17.00.06 / Vyktoryia Vyktorovna Semenova; [Mesto zashchyty: Moskovskiy hosudarstvennyy unyversytet dyzaina y tekhnolohyy]. – M.: MHUDT. – 2009. – 342 s.
3. Vyliaeva A. A. Yssledovanye y analiz prymeneniya modulnoi systemy v proektyrovanyu promyshlennoho assortymenta razlychnykh yzdeliy y obuvy / A. A. Vyliaeva, H. A. Bastov // Tekhnicheskoe rehulyrovanye: bazovaia osnova kachestva materyalov, tovarov y usluh: mezhduнародnyi sbornik nauchnykh trudov / redkol. V.T. Prokhorov [y dr.]; Ynstytut sfery obsluzhyvaniya y predprynimatelstva (fylyal) feder. hos. biudzh. obrazovat. uchrezhd. vyssheho prof. obrazovaniya "Donskoi hos. tekhn. un-t" v h. Shakhty Rost. obl. (YSOyP (fylyal) DHTU. – Shakhty: YSOyP (fylyal) DHTU, 2014. – S.91-94.
4. Mykhailovska O. A. Khudozhno-konstruktyvni oznaky ta parametry formotvorennia modulnoho vzuttia / O. A. Mykhailovska, A. B. Dombrovskiy. // Lehka promyslovist. Industriia mody. – 2018. – №2. – S. 48–52.
5. Hrabovetskyi B.Ie. Metody ekspertnykh otsinok: teoriia, metodolohiia, napriamky vykorystannia: monohrafiia / B.Ie. Hrabovetskyi – Vinnytsia: VNTU, 2010. – 171 s.
6. Kernesh V. P. Doslidzhennia estetychnykh vlastyvoستي vzuttia metodom opytuvannia ta ranzhuvannia / V. P. Kernesh., N. M. Omelchenko, V. P. Konoval // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2005. – №6. – S.209-212.
7. Lobanova H. Ye. Doslidzhennia chynnykiv, shcho vplyvaiut na formuvannia asortymentu dytiachoho vzuttia / H. Ye. Lobanova, O. V. Kovaliuk. // Visnyk KNUITD. – 2017. – №3. – S. 91–97.

Надійшла / Paper received: 18.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 02.06.2020

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛУБ'ЯНИХ ВОЛОКОН

В статті досліджено показники механічних властивостей платтяно-костюмних тканин різних за волокнистим складом. Проаналізовано їх вплив на зносостійкість швейного одягу. Встановлено, що розривальні характеристики тканини залежать від виду волокнистого складу, міцності ниток, структури тканини і способів її обробки. Виявлено, що в ході розтягування в напрямку основи або утку міцність платтяно-костюмних тканин залежить від міцності і кількості позовжніх ниток у структурі тканини, які безпосередньо приймають навантаження. У текстильному матеріалі нитки, маючи взаємне переплетення, зв'язані тертям в єдину систему.

Ключові слова: розривальне навантаження, видовження на момент розірвання, поверхневе заповнення, поверхнева густина.

O. OSTAPCHUK, L. PELYK

Edelvika PJSC, Lviv University of Trade and Economics

RESEARCH OF MECHANICAL PROPERTIES OF TEXTILE MATERIALS WITH USE OF BABY FIBERS

The article examines the indicators of mechanical properties of dress and suit fabrics of different fiber composition. Their influence on wear resistance of sewing clothes is analyzed. It is established that the tearing characteristics of the fabric depend on the type of fibrous composition, the strength of the threads, the structure of the fabric and methods of its processing. It was also found that the tissue density has a decisive influence on the rupture load. This confirms the comparison of the density of threads on the warp and weft to the breaking load, the increase in the density of threads on the warp leads to an increase in the breaking load on the warp. As the density of threads in the fabric increases, the angles of girth of the threads increase, and accordingly, the area of friction, the connection of fabric elements increases, the mutual pressure between the warp and weft threads increases and the degree of fiber adhesion, resulting in increased fabric strength. When stretching in the direction of the warp or weft, the strength of dress and suit fabrics depends on the strength and number of longitudinal threads in the fabric structure, which directly accept the load. In textile material, the threads, having a mutual weave, are connected by friction into a single system. It is investigated that the size of elongation during a rupture is connected, first of all, with elongation of textile fibers which is most fully shown in fabric structure, with a twist of a yarn or threads, with a weave. The amount of elongation of the fabric, especially at the beginning of its stretching, is directly dependent on the density of the threads. In turn, the number of folds is determined by the weave of the fabric, so the fabric of the linen weave, which is characterized by a large number of folds of the threads, will have the greatest elongation.

Keywords: breaking load, elongation at the time of rupture, surface filling, surface density.

Вступ. У процесі експлуатації швейний одяг піддається різним механічним діям, які визивають деформації розтягу, згину, стиску. Сили, які діють на текстильний матеріал різні за величиною. Вони викликають лиш часткові зміни структури і властивостей, а також діють протягом довготривалого терміну, викликаючи у тканині втрату міцності. Тому на стадії проектування нових текстильних матеріалів потрібно враховувати ці чинники з метою забезпечення їх оптимальних термінів використання та високої якості швейного одягу.

Міцність тканини на розрив ще не дає повної характеристики зносостійкості тканин і терміну їх придатності. Але це досить важливий показник, який регламентується стандартами для кожної тканини. Під час дослідження механічних властивостей тканин найбільше значення мають параметри характеристик під час розтягнення [1]. Цьому сприяє розташування волокон в пряжі в позовжньому напрямку, з якої виготовлені текстильні матеріали. Під час експлуатації тканина зазнає впливу саме деформації розтягу.

Міцність тканини на розрив залежить від виду застосованих волокон, міцності ниток, структури тканини і способів їх обробки. У змішаній пряжі міцність волокон повністю не використовується за рахунок великих відмінностей в подовженні компонентів суміші. У пряжі із різних волокон спостерігається зниження міцності порівняно з міцністю пряжі з однорідних волокон.

Постановка завдання. Метою статті було дослідження механічних властивостей платтяно-костюмних текстильних матеріалів різних за волокнистим складом.

Результати досліджень. Об'єктами досліджень слугували платтяно-костюмні тканини, які виготовлялися на ткацьких верстатах СТБ-4-180 та Picanoli-8-190 у виробничих умовах ПРАТ «Едельвіка» (м. Луцьк). За базові зразки було взято льоно-поліестерово-бавовняні тканини (вар. 1 та 3). Платтяно-костюмні тканини були виготовлені у виробничих умовах на Луцькому ПРАТ «Едельвіка». Досліджувані платтяно-костюмні тканини відрізнялися за такими ознаками: за волокнистим складом: льоно-бавовняні (вар. 4), льоно-поліестерово-бавовняні (вар. 1–3, 5, 6), бавовняно-конопляна (вар. 7), рамі-бавовняна (вар. 8) та конопляно-бавовняно-льоно-поліестерова тканини (вар. 9); за поверхневою густиною та товщиною; за видами оздоблення: відварені (вар. 2, 5, 7) та відбілені (вар. 1, 3, 4, 6, 8, 9). Механічні властивості досліджуваних платтяно-костюмних тканин визначалась за стандартною методикою, а саме двомірними випробуваннями: за основою та за утком. В даній роботі розглянуті напівциклічні розривальні характеристики зразків одягових тканин побутового призначення, а саме розривальне зусилля (H),

видовження на момент розірвання (%), відносне розривальне зусилля ($\text{Н}\cdot\text{м}/\text{г}$) та розрахункове розривальне зусилля ($\text{Н}/\text{нитку}$). Результати дослідження розривальних характеристик платтяно-костюмних тканин наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Дослідження розривальних характеристик платтяно-костюмних тканин

Вар. зразка	Товщина, мм	Поверхнева густина, $\text{г}/\text{м}^2$	Поверхнєве заповнення тканини, E_s , %	Щільність, кількість ниток на 10 см		Лінійна густина пряжі, текс		Розривальне навантаження, Н	
				основа	уток	основа	уток	основа	уток
1	0,42	140	54,4	130	120	58,8	58,8	486	471
2	0,40	140	55,6	152	150	40,0	58,8	708	669
3	0,38	114	54,0	152	180	37,0	29,4	414	359
4	0,34	140	69,6	217	160	29,4	50,0	383	640
5	0,42	150	59,2	130	125	58,8	66,7	538	816
6	0,44	165	60,2	130	135	58,8	60,6	715	744
7	0,85	305	76,0	109	133	114,8	114,8	494	628
8	0,36	135	70,5	202	200	40,0	27,8	458	414
9	0,41	166	66,1	131	204	58,8	40,0	709	835

Аналіз табл. 1 показує, що розривальне навантаження платтяно-костюмних тканин залежить від їх структурних показників і перш за все від міцності волокон, що входять у структуру матеріалу, а також від лінійної густини пряжі або ниток. Так, найбільше розривальне навантаження знаходиться у вар.6 і становить за основою – 715 Н та за утком – 744 Н при високій лінійній густині пряжі (за основою – 29,4 текс $\times$ 2 текс, за утком – 60,6 текс). Висока міцність тканини із льняного волокна забезпечує довготривалий термін придатності при використанні цієї тканини у швейному виробі, що являється перевагою порівняно з іншими платтяно-костюмними тканинами. У досліджуваному зразку вар.8 розривальне навантаження є найменшим і становить: за основою – 458 Н і за утком – 414 Н при найменшій лінійній густині пряжі за основою – 20 текс $\times$ 2, а за утком – 27,8 текс. Таким чином, чим менша лінійна густина, тим менша міцність платтяно-костюмної тканини.

Міцність платтяно-костюмних тканин із луб'яних волокон сильно змінюється залежно від поверхневої густини, тому важко порівнювати між собою величини розривальних навантажень із різною поверхневою густиною та товщиною. З даних табл. 1 випливає, що розривальне навантаження при однаковій товщині збільшується зі збільшенням поверхневої густини матеріалу. Так, при однаковій товщині тканин 0,42 мм найбільше розривальне навантаження знаходиться у платтяно-костюмній тканині вар. 5 і становить: за основою – 538 Н та за утком – 816 Н при поверхневій густині 150 $\text{г}/\text{м}^2$, ніж у зразка-еталону вар.1 – 486 Н і 471 Н відповідно. Найбільше розривальне навантаження знаходиться у вар.6 і становить за основою – 715 Н та за утком – 744 Н при найвищій поверхневій густині – 165 $\text{г}/\text{м}^2$.

Виявлено також, що визначальний вплив на розривальне навантаження має щільність тканини. Це підтверджує зіставлення щільності ниток за основою й утком до розривального навантаження, збільшення щільності ниток за основою призводить до збільшення розривального навантаження за основою [2]. Так, у вар.7 та вар. 9 найвища щільність за утком і становить 133 та 204 відповідно при високому розривальному навантаженні за утком – 628 Н та 835 Н. Із збільшенням щільності ниток у тканині збільшуються кути обхвату ниток, і відповідно, площа тертя, зв'язаність елементів тканини збільшується, збільшується сила взаємного тиску між нитками основи та утку і ступінь зчеплення волокон у пряжі, внаслідок чого зростає міцність тканини. Так, із досліджувальних платтяно-костюмних зразків найбільшою щільністю ниток на 10см за утком характеризується вар.9 і становить 204 при найбільшому розривальному навантаженні за утком – 835 Н.

З аналізу отриманих даних видно, що на міцність платтяно-костюмних тканин впливають показники заповнення. Платтяно-костюмна тканина вар.3 має найменше поверхнєве заповнення – 54,0%, ніж зразок-еталон, що і призвело до зниження міцності (за основою – 414 Н, за утком – 359 Н). При розтягуванні в напрямку основи або утку міцність платтяно-костюмних тканин залежить від міцності і кількості поздовжніх ниток у досліджуваному зразку, які безпосередньо приймають навантаження. У тканині нитки, маючи взаємне переплетення, зв'язані тертям в єдину систему. Тому середня міцність на одну нитку смужки тканини, яка розташована у напрямку діючої сили, більша від міцності тієї ж нитки у вільному стані, незважаючи на те, що в процесі ткацтва основні нитки втрачають приблизно 5–20% своєї початкової міцності. Результати дослідження механічних властивостей платтяно-костюмних тканин наведені у табл. 2.

Розривальне навантаження базового зразка вар. 1 становить за основою – 486 Н та за утком – 471 Н, відносне розривальне навантаження 69,4 $\text{Н}\cdot\text{м}/\text{г}$ та 67,3 $\text{Н}\cdot\text{м}/\text{г}$ відповідно. Показники розривальних характеристик вар. 1 за основою більші за значення утку в зв'язку з більшим числом ниток на 100 мм – 130 та 120 відповідно. Проте ми можемо спостерігати зменшення розрахункового розривального навантаження ниток основи 7,5 $\text{Н}/\text{нитку}$ в порівнянні з розрахунковим розривальним навантаженням ниток утку 7,8 $\text{Н}/\text{нитку}$, що свідчить про вплив механічних дій тертя та розтягнення на нитки основи під час процесів снування та ткацтва.

Більшість представлених в даній роботі зразків досліджуваних тканин (вар. 2, 4, 5, 6, 8 та 9) є неоднорідними, тобто виготовлені з різних видів пряжі в основі та в утку. Поверхнева густина

досліджуваних зразків варіюється в широких межах від 131 г/м² до 305 г/м². Тому доцільно для порівняння досліджуваних зразків використовувати показник відносного розривального навантаження.

Таблиця 2

Характеристика механічних властивостей досліджуваних платтяно-костюмних тканин

Вар. зразка	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м ²	Щільність, кількість ниток на 10 см		Відносне розривальне навантаження, Н·м/г		Розрахункове розривальне навантаження, Н/нитку		Видовження на момент розривання, %	
			основа	уток	основа	уток	основа	уток	основа	уток
1	0,42	140	130	120	69,4	67,3	7,5	7,8	26	30
2	0,40	140	152	150	101,1	95,6	9,3	8,9	30	34
3	0,38	114	152	180	72,6	63,0	5,4	4,0	28	32
4	0,34	140	217	160	54,7	91,4	3,5	8,0	15	18
5	0,42	150	130	125	71,7	108,8	8,3	13,2	26	15
6	0,44	165	130	135	86,7	90,2	11,0	11,1	30	16
7	0,85	305	109	133	32,4	41,2	9,1	9,5	17	43
8	0,36	135	202	200	67,8	61,3	4,5	4,1	17	19
9	0,41	166	131	204	85,4	100,6	10,9	8,2	26	16

У вар. 1, 5, 9 в основі використано пряжу поліестерово-бавовняно-ляну лінійною густиною 29,4×2 текс, число ниток в основі становить 130, 130, та 131 відповідно. Незважаючи на практично однакову кількість ниток в основі спостерігаємо збільшення показника розривального навантаження за утком вище вказаних варіантів – 486 Н, 538 Н та 709 Н відповідно, а також збільшення відносного розривального навантаження – 69,4 Н·м/г, 71,7 Н·м/г та 85,4 Н·м/г відповідно. Встановлено, що зі збільшенням поверхневого заповнення досліджуваних зразків тканин (вар. 1, 5 та 9), яке становить 54,4 %, 59,2 % та 66,1 % відповідно, збільшується відносне розривальне навантаження платтяно-костюмних тканин. Також спостерігаємо збільшення розрахункового розривального навантаження зразків тканин (вар. 1, 5 та 9), яке становить 7,5 Н/нитку, 8,3 Н/нитку та 10,9 Н/нитку відповідно. У зв'язку зі збільшенням числа ниток на 100 мм за утком – 120,125 та 204 відповідно, а також дії зчеплення ниток утку з нитками основи в результаті процесів оздоблення тканини (відварювання та відбілювання), показник розрахункового розривального навантаження за основою збільшується.

У досліджуваному зразку вар. 4 розривальне навантаження за основою становить 383 Н, розрахункове розривальне навантаження – 3,5 Н/нитку, що є найменшими показниками, які характеризують нитки основи досліджуваних зразків. Платтяно-костюмна тканина вар. 4 виготовлена в основі з бавовняної одноститкової пряжі лінійною густиною 29,4 текс, що є найменшою лінійною густиною пряжі серед досліджуваних тканин. Розривальне навантаження тканини вар. 8 є більшим за вар. 4 і становить 458 Н. Платтяно-костюмна тканина вар. 8 виготовлена в основі з бавовняної крученої пряжі лінійною густиною 20×2 текс, має більше поверхнєве заповнення – 70,5 % в порівнянні з поверхневим заповненням вар. 4 – 69,6%, тому характеризується більшим розрахунковим розривальним навантаженням 4,5 Н/нитку.

Варіанти 1, 2, 3, 5, 6 та 9 платтяно-костюмних тканин виготовлені в основі зі змішаної пряжі з вмістом поліестерових волокон, а саме поліестерово-бавовняно-ляної (вар. 1, 3, 5 та 9) та поліестерово-бавовняної (зр. 2 та 6). Поліестерові волокна в структурі тканини покращують її зносостійкість, незмінальність, розривні характеристики. Застосування змішаної крученої пряжі в основі дозволяє знизити вартість виготовлення тканини за рахунок вилучення з технологічного процесу виготовлення тканин операцій шліхтування та розшліхтовування.

Платтяно-костюмна тканина вар. 5 характеризується найбільшим показником відносного розривального навантаження за утком – 108,8 Н·м/г та найбільшим розрахунковим розривальним навантаженням – 6,4 Н/нитку. Під час виготовлення зразка тканини вар. 5 використали в утку лляну відварену пряжу лінійною густиною 66,7 текс. Відомо, що розривальне навантаженням лляного волокна лінійною густиною 0,17-0,33 текс становить 10–20 сН, в порівнянні з поліестеровим волокном лінійною густиною 0,3 текс розривальне навантаження становить 18 сН [3].

Встановлено, що лляна волокно не поступається міцністю поліестеровому волокну. У вар. 6 також під час виготовлення тканини використано в утку лляну відбілену пряжу лінійною густиною 60,6 текс, що на 9,2 % менша у порівнянні з лінійною густиною лляної пряжі в утку вар. 5. Відносне розривальне навантаження за утком вар. 6 становить 90,2 Н·м/г, що менше на 17% від такого ж показника вар. 5. Розрахункове розривальне навантаження за утком вар. 6 становить 11,1 Н/нитку, що менше на 16 % від такого ж показника вар. 5. Це свідчить про зниження міцності лляної відбіленої пряжі у порівнянні з лляною відвареною пряжею. Лляна пряжа під час процесу відбілювання зазнає впливу фізико-хімічних процесів, які можуть спричинити часткову деструкцію волокна, видалення воскоподібних та пектинових речовин, що може стає причиною зниження міцності волокон та погіршення ряду інших експлуатаційних характеристик.

Встановлено, що платтяно-костюмна тканина вар. 7 має найменші відносне розривальне навантаження за основою – 32,4 Н·м/г та за утком – 41,2 Н·м/г, при найбільшому поверхневому заповненні тканини 76,0 %. Досліджуваний зразок вар. 7 виготовлений в основі та утку з бавовняно-конопляної пряжі лінійною густиною 72,4×2 текс. Причиною зниження розривальних характеристик є котонізація

конопляного волокна з метою проведення процесу прядіння з волокнами бавовни [4]. Досліджено, що видовження на момент розірвання поліестерового волокна лінійної густини 0,3 текс становить 35 %, що в 11,7 разів більше видовження на момент розірвання лляного волокна, приблизно в 10 разів більше видовження на момент розірвання конопляного волокна, однакової лінійної густини пряжі.

У досліджуваних зразків платтяно-костюмних тканин виготовлених в утку з лляної пряжі (вар. 4, 5 та 6) показник видовження на момент розірвання становить 18 %, 15 % та 16 %. Також у зразках тканин виготовлених в утку з конопляної пряжі вар. 9 цей показник становить 16 %, а з пряжі рамі вар. 8 – 19%. Платтяно-костюмні тканини вар. 4 та вар. 8 виготовлені в основі з бавовняної пряжі мають показник видовження на момент розірвання 15 % та 17 % відповідно з високими показниками поверхневого заповнення 69,6 % та 70,5 % відповідно.

Встановлено, що для бавовняного волокна характерне більше видовження на момент розірвання в порівнянні з лляним та конопляним волокном, але значно менше в порівнянні з поліестеровим волокном. Менше значення показника видовження на момент розірвання зразків з бавовняною основою вар. 4 та вар. 8, пов'язано з меншою лінійною густиною бавовняної пряжі, яка становить 29,4 текс та 40,0 текс, в порівнянні з лінійною густиною лляної пряжі за утком у вар. 4, вар. 5 та вар. 6, відповідно 50,0 текс, 66,7 текс та 60,6 текс. Аналізуючи результати дослідження доведено, що додавання у склад платтяно-костюмної тканини поліестерової пряжі призводить до збільшення видовження на момент розірвання.

Висновки. Швейні вироби під час носіння піддаються деформації розтягу у повздовжньому, поперечному та інших напрямках. Показники міцності при розтягуванні використовуються під час оцінки якості текстильних матеріалів. Вони характеризують якість волокон, пряжі та ниток, наявність або відсутність пошкодження тканин в процесі виробництва. Показники міцності використовуються як критерій оцінки зносостійкості текстильних матеріалів під дією різних факторів зношування.

Досліджено, що у міру збільшення щільності і заповнення тканини збільшується взаємний зв'язок її елементів, тобто волокон і ниток, що призводить до збільшення міцності текстильного матеріалу. Проведені дослідження показали, що на подовження тканин під час розриву впливає менша кількість факторів. Величина подовження під час розриву пов'язана, перш за все, з подовженням текстильних волокон, яке найповніше проявляється у структурі тканини, з круткою пряжі або ниток, з переплетенням. Величина подовження тканини, особливо на початку її розтягування, знаходиться у прямій залежності від щільності ниток. У свою чергу, кількість згинів визначається переплетенням тканини, тому тканини полотняного переплетення, для якого характерна велика кількість згинів ниток, будуть мати найбільше подовження.

Література

1. Пелик Л.В. Дослідження зносостійкості льономісних текстильних матеріалів / Л.В. Пелик, Д.Ю. Шелька, А.А. Сокальська // Вісник Львівського торговельно-економічного університету. – 2020. Випуск 23. – С. 5–10.
2. Матеріалознавство та основи технологій виробництва товарів : навчально-наочний посібник / [Л.В. Пелик, І.С. Полікарпов, Р.В. Кирильчук та ін.]. – Львів : Вид-во Львівської комерційної академії, 2015. – 108 с.
3. Бучківська У. Б. Дослідження механічних властивостей платтяно-костюмних тканин з використанням еластанових ниток / У. Б. Бучківська // Товарознавчий вісник. – Луцьк : ЛНТУ, 2014. – Вип. 7. – С. 41–46.
4. Захаренко В.О. Матеріалознавство та основи технології виробництва товарів : навч. посіб. / В.О. Захаренко. – Харків : ХДУХТ, 2016. – 195 с.

References

1. Pelyk L.V. Research of wear resistance of flax-containing textile materials / L.V. Pelyk, D.Y. Shelka, A.A. Sokalska // Bulletin of Lviv University of Trade and Economics, 2020. Issue 23, P. 5–10.
2. Pelyk L.V. Material science and fundamentals of commodity production technologies. Tutorial-manual / L.V. Pelyk, I.S. Polikarpov, R.V. Kyrlychuk et al. – Lviv: Publisher of the Lviv Commercial Academy, 2015. – 108 p.
3. Buchkivska U.B. Research of mechanical properties of dress and suit fabrics with the use of elastane threads / U.B. Buchkivska // Commodity Bulletin. - Lutsk: LNTU, 2014. Issue. 7. - P. 41–46.
4. Zakharenko V.O. Material Science and Fundamentals of Product Manufacturing Technology: Tutorial tool / V.O. Zakharenko. - Kharkiv: KhDUKT, 2016 - 195 p.

Надійшла / Paper received: 12.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020

Н. Д. ПРУДНІКОВА, Н. В. ПЕРВАЯ
Київський національний університет технологій та дизайну

ОЦІНКА ЗДАТНОСТІ ВКЛАДНИХ УСТІЛОК ЗАБЕЗПЕЧУВАТИ ТЕПЛОВИЙ КОМФОРТ

В роботі розглядається актуальне питання забезпечення теплового комфорту людини за рахунок створення відповідного мікроклімату у взутті під час його використання. Відомо, що тепловий комфорт сприяє фізичному та психічному здоров'ю людини та підтриманню якості її життя. За допомогою інфрачервоної термографії було проведено дослідження та оцінена здатність вкладних устілок з різного матеріалу (одношарової з повсті; двошарової з натуральної шкіри та устілкового картону; тришарової з натуральної шкіри та наповнювачем з кісточок плодів рослин) забезпечувати тепловий комфорт. Для цього вкладні устілки нагрівали до температури 37°C та кожні 2 хв до нагрівання та під час охолодження реєстрували теплове зображення інфрачервоного випромінювання вкладних устілок з подальшою обробкою програмним забезпеченням Fluke Connect Desktop. Отримані термограми – теплові зображення вкладних устілок в інфрачервоному діапазоні спектру без прямого контакту з ними показали розподіл температурних полів досліджуваних вкладних устілок. Це дало змогу констатувати той факт, що швидше за всіх нагрівається та охолоджується вкладна устілка одношарова з повсті, тришарова устілка довше нагрівається, але і довше тримає тепло, двошарова вкладна устілка має середні показники нагріву та охолодження. Тобто зазначені вкладні устілки можуть забезпечити тепловий комфорт людини у внутрішньому просторі взуття та рекомендовані для використання з урахуванням особливостей їх нагрівання та охолодження. Серед досліджуваних вкладних устілок тришарову устілку з натуральної шкіри та наповнювача з кісточок плодів рослин можна рекомендувати носити для зниження ризику простудних захворювань та розвитку грибкових утворень у взутті.

Ключові слова: тепловий комфорт, взуття, вкладні устілки, інфрачервона термографія.

N. PRUDNYKOVA, N. PERVAYA
Kyiv National University of Technologies and Design

ASSESSMENT OF THE ABILITY OF INSERT INSOLES TO PROVIDE THERMAL COMFORT

Personal comfort contributes to a person's physical and mental health and the maintenance of his or her quality of life. One of the most important functions of clothing and footwear is to create a comfortable feeling of heat in a person, ie a normal thermal state, which is maintained at a certain ratio of heat generation and heat transfer.

The article considers the topical issue of providing thermal comfort of a person by creating an appropriate microclimate in footwear during its use. It is known that thermal comfort contributes to physical and mental health and maintaining the quality of life. Infrared thermography was used to study and evaluate the ability of insoles made of different materials (single-layer felt; two-layer genuine leather and insole cardboard; three-layer genuine leather and filler from fruit stones) to provide thermal comfort. To do this, the insoles were heated to a temperature of 37 ° C and every 2 minutes before heating and during cooling, the thermal image of the infrared radiation of the insoles was recorded, followed by processing with Fluke Connect Desktop software. The obtained thermograms - thermal images of insoles in the infrared range of the spectrum without direct contact with them showed the distribution of temperature fields of the studied insoles. Which made it possible to state the fact that the single-layer insole made of felt heats and cools the fastest, the three-layer insole heats longer, but also keeps heat longer, the two-layer insole has average heating and cooling rates. That is, these insoles can provide thermal comfort in the interior of the shoe and are recommended for use, taking into account the peculiarities of their heating and cooling.

Among the studied insoles, a three-layer insole made of genuine leather and a filler made of stone fruits can be recommended to wear to reduce the risk of colds and the development of fungal formations in shoes.

Keywords: thermal comfort, footwear, insoles, infrared thermography.

Вступ. Особистий комфорт сприяє фізичному та психічному здоров'ю людини та підтриманню якості її життя. Однією з найважливіших функцій одягу та взуття є створення у людини комфортного тепловідчуття, тобто нормального теплового стану, яке підтримується при певному співвідношенні процесів теплоутворення і тепловіддачі.

Під тепловим станом людини розуміється такий функціональний стан організму, який характеризується вмістом тепла в тканинах тіла з відносно постійною температурою і в тканинах тіла з мінливою температурою, а також ступенем напруження системи терморегуляції [1].

Про тепловий стан людини можна судити за його тепловідчуттям та об'єктивними показниками: температурою тіла та шкіри, топографією температури шкіри, величиною втрати вологи, гемодинамічними показниками (частотою пульсу, артеріальним тиском). Тепловий стан людини обумовлює і його працездатність [2].

В комплексі гігієнічних властивостей, які повинні мати взуття, чільне місце займають його теплозахисні властивості, які найбільш докладно досліджені Л. В. Кедровим [3]. Теплозахисні властивості взуття визначаються комплексним показником теплозахисних властивостей матеріалів деталей взуття та вкладних устілок. Тому шляхом підбору матеріалів для верха і низу можна створити взуття з різними теплозахисними властивостями для забезпечення теплового комфорту споживача.

Постановка завдання. Тепловий комфорт і тепловий стан – поняття взаємопов'язані. Тепловий комфорт означає термічно нейтральний стан, тобто в умовах температурного комфорту механізми терморегуляції не відчувають напруження. Більшість авторів [4, 5, 6] визначають тепловий комфорт за

тепловідчуттям та температурою шкіри. На кожному квадратному міліметрі шкіри є приблизно 15 рецепторів, що сприймають холод. Людина відчуває комфортний тепловий стан в тих випадках, коли середньозважена температура його шкіри знаходиться в межах 31,0–34,5 °С. При температурі шкіри менше 31 °С людина відчуває неприємне відчуття холоду. Якщо розглядати тепловий комфорт, виходячи з фізіологічного стану різних ділянок поверхні тіла, то за критерій цієї оцінки насамперед слід прийняти температуру поверхні шкіри, а саме (в °С): лоб – 34,4 ± 0,5; груди – 33,6 ± 0,3; живіт – 34,2 ± 0,3; спина – 33,4 ± 0,2; попереk – 34,3 ± 0,4; плече – 33,0 ± 0,3; передпліччя – 32,6 ± 0,4; кість – 31,5 ± 0,5; стегно – 32,8 ± 0,2; гомілка – 31,3 ± 1,3 [7].

Питання теплового комфорту взуття є одним з найважливіших аспектів його використання [8]. Нога відноситься до тих органів, які не підтримують свою температуру на рівні температури тіла [9]. В умовах підвищеної температури зовнішнього середовища стопа легко нагрівається, аналогічно при низьких температурах – швидко охолоджується і є найхолоднішим органом тіла. Відомо, що температура поверхні шкіри людини коливається в межах від 28 до 34 °С, і це також граничні значення фізіологічної температури стопи [9]. Навіть невеликі відхилення від вказаних значень викликають захисну реакцію організму, що проявляється активацією механізму підвищеної секреції поту і його випаровування з поверхні шкіри [10–12]. Система терморегуляції стопи відносно добре розвинена в невеликому діапазоні – в порівнянні з іншими частинами тіла, наприклад, шкірою обличчя і тулубом. Це означає, що в умовах високої температури нога легко прогривається і є місцем з найвищою температурою. Аналогічно відбувається в холодному середовищі. Холодні терморецептори розташовані у верхньому шарі шкіри, а теплові – трохи глибше. Підраховано, що існує від 3 до 6 холодних терморецепторів і лише один тепловий на 1 см² поверхні шкіри стопи. Важливим аспектом є також те, що відхилення від оптимальної температури повільніше реєструються в центральному сенсорному центрі, розташованому в корі головного мозку. Як наслідок, ми маємо справу з ситуацією високої втрати тепла через стопи перед активацією механізму терморегуляції [13]. Незважаючи на відносно невеликі розміри стопи (маса стопи становить 2 % від ваги, а площа 3,2 % від загальної поверхні тіла людини), температурне поле її неоднорідне [7].

Характер розподілу температури на поверхні стопи представлений в таблиці 1 [14].

Таблиця 1

Температурна топографія стопи в умовах теплового комфорту

Ділянка стопи	Температурний інтервал, °С	Середня температура, °С
1. Гомілка	30,0–32,3	31,3
2. Тил стопи	26,7–31,5	29,1
3. Пальці стопи	19,8–33,2	26,8
4. Стопа в цілому	29,3–30,6	30,0

Критерієм теплового комфорту стопи людини є: температура стопи 27–33 °С, повітря в середині взуття 21–25 °С [15].

На створення теплового комфорту стопи впливають теплозахисні властивості взуття. Під теплозахисними властивостями розуміють здатність взуття перешкоджати тепловіддачі від стопи до зовнішнього середовища [3]. Теплозахисні властивості матеріалів і взуття визначають за їх тепловим опором $R(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})/\text{Вт}$, який розраховують за формулою

$$R = \frac{\delta}{\lambda},$$

де δ – товщина матеріалу, м; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·°С).

Отже, шляхом підбору матеріалів верху та низу взуття з різною теплопровідністю можна створити взуття, що не поступається за теплозахисними властивостями валяним чоботам. Високим тепловим опором характеризується взуття, що включає деталі з пористих матеріалів, які містять повітряні прошарки, наприклад, устілки з фетру та повсті, вкладні устілки з пінопласту, сітчасті вкладні утеплювачі в якості міжпідкладки.

Вкладні устілки також дають можливість досягти необхідного технічного результату – забезпечення комфортності взуття за рахунок покращення її гігієнічних та ергономічних властивостей. Тому правильний підбір матеріалів для вкладної устілки є однією з основних умов комфортності взуття.

Як відомо, основними функціями вкладної устілки є вологопоглинання потовиділення стопи та теплоізоляція. Тому для виробництва вкладних устілок широко використовуються матеріали, що мають покращені гігроскопічні та теплозахисні властивості.

Для визначення теплофізичних властивостей матеріалів та їх систем застосовують стаціонарний та нестаціонарний методи з використанням різного обладнання [16], що дозволяє отримати інформацію про їх тепловий опір та теплопровідність для формування інформації про забезпечення теплового комфорту при використанні оцінених матеріалів у виробках легкої промисловості. Але цікавим є визначення теплової реакції матеріалів у зазначених виробках при нагріванні та охолодженні з метою оцінювання їх можливості швидко охолоджуватися чи тримати задану температуру.

Для визначення теплової реакції матеріалів вкладних устілок на нагрівання та охолодження запропоновано застосувати спосіб інфрачервоної термографії, який є неруйнівним, не інвазивним та

науковим способом отримання термограми – зображення в інфрачервоних променях, що показує розподіл температурних полів та дозволяє визначити перегріті або переохолоджені місця [17].

Інфрачервона термографія широко використовується під час оцінки розподілу температурних полів в електроніці, авіації, промисловості, металургії, будівництві, а також у медичній галузі тощо. Також аналіз інформаційних джерел вказує на інтерес дослідників до методу інфрачервоної термографії в питаннях, пов'язаних з дослідженням теплового комфорту при використанні виробів споживачем [17].

Для досягнення теплового комфорту у внутрішньому просторі взуття споживачі часто використовують вкладні устілки з покращеними теплофізичними та гігієнічними властивостями, що досягається за рахунок застосованих матеріалів: натуральної шкіри, текстильного полотна, високомолекулярних полімерних матеріалів монолітних і пористих структур, корока та інші [18]. Тому актуальним є оцінювання здатності вкладних устілок з різних матеріалів забезпечувати тепловий комфорт споживача.

Результати досліджень. За об'єкт дослідження були вибрані вкладні устілки (рис. 1): одношарова з повсті; двошарова з натуральної шкіри та устілкового картону; тришарова з натуральної шкіри та наповнювачем з кісточок плодкових рослин [19].



Рис. 1. Вкладні устілки: тришарова, двошарова та одношарова

Для визначення здатності вкладних устілок забезпечувати тепловий комфорт використовували термограф Fluke Ti110 (рис. 2). Діапазон температурних вимірювань термографа від -20°C до $+250^{\circ}\text{C}$, похибка $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Принцип дії закладений у роботу даного приладу базується на реєстрації випромінюваної енергії об'єкту, тобто отриманні теплового зображення об'єкту в інфрачервоному діапазоні спектру без прямого контакту з ним. Кількість випромінюваної енергії залежить від двох основних чинників: температури поверхні об'єкту і коефіцієнта випромінювання поверхні об'єкту. Для поверхонь, які добре поглинають інфрачервоне випромінювання (високий коефіцієнт випромінювання), коефіцієнт випромінювання становить 95% (або 0,95).



Рис. 2. Зовнішній вигляд термографа Fluke Ti110

Дослідження проводились наступним чином.

Вкладні устілки розміщували у шафі сушильній ШСУ-20 за температури 37°C , після чого кожні 2 хв за допомогою термографа відбувалася реєстрація теплового зображення інфрачервоного випромінювання вкладних устілок з подальшою обробкою програмним забезпеченням Fluke Connect Desktop (рис. 3) доки вони нагрівалися до визначеної температури. Під час проведення експерименту температура навколишнього середовища становила 20°C . Результати дослідження представлені на діаграмі (рис. 4).

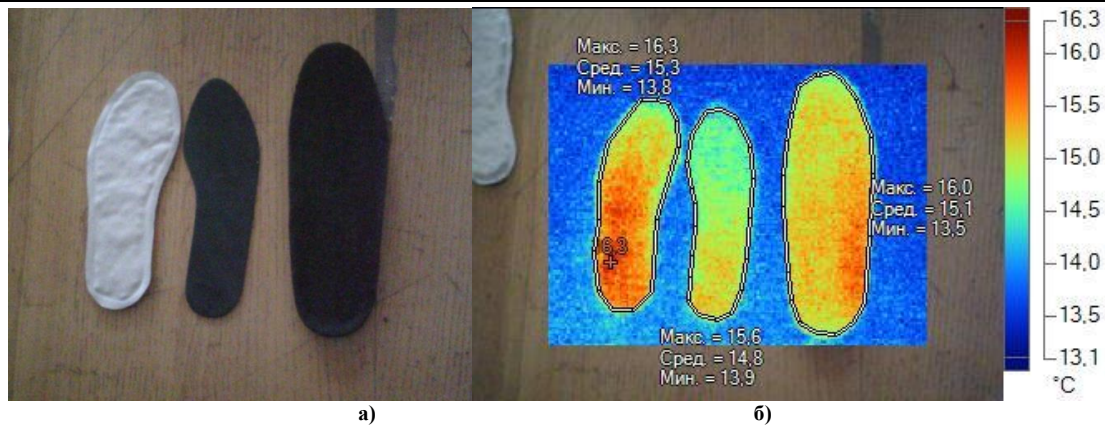


Рис. 3. Зображення вкладних устілок без (а) та після (б) ресстрації теплового зображення та обробки програмним забезпеченням Fluke Connect Desktop

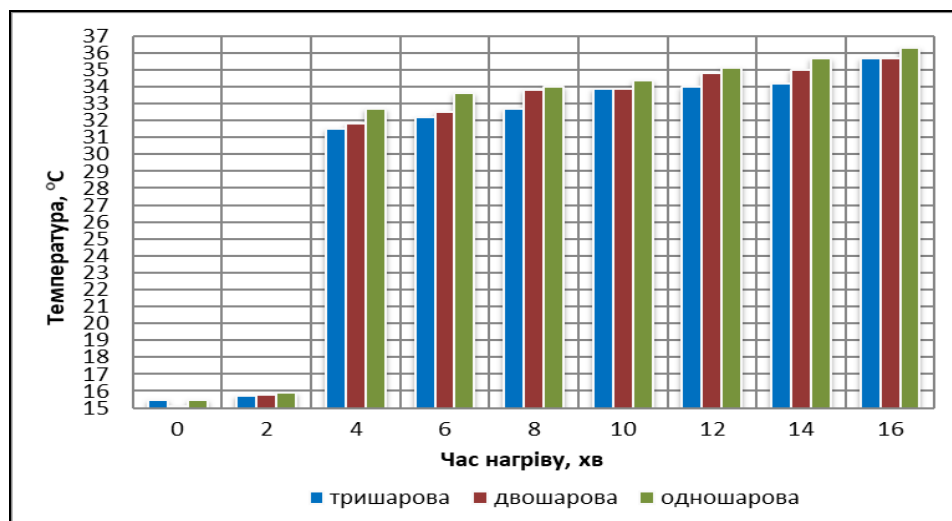


Рис. 4. Діаграма нагріву вкладних устілок

Після того, як вкладні устілки нагрілися до заданої температури, визначали час їх охолодження при кімнатній температурі, яка складала 20°C, з дискретністю в 1 хвилину. Результати дослідження представлені на діаграмі (рис. 5).

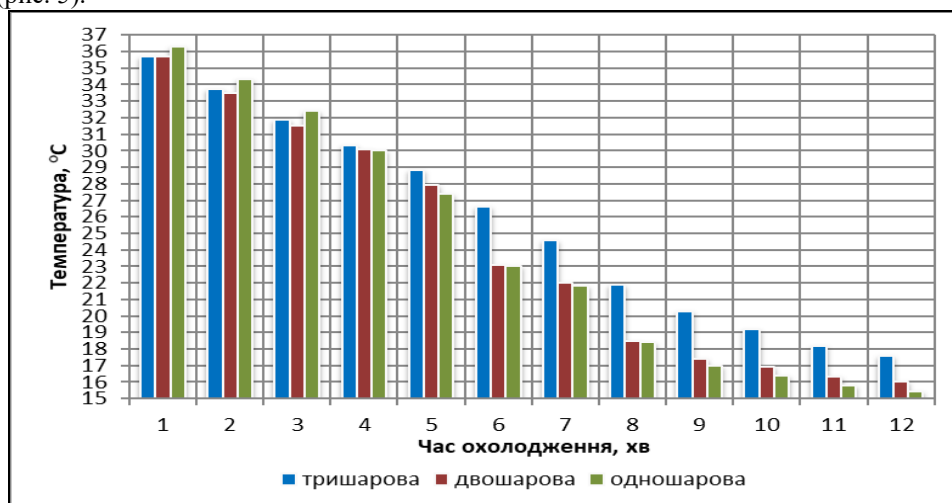


Рис. 5. Діаграма охолодження вкладних устілок

Результати дослідження показали, що:

- розпочинаючи з четвертої хвилини нагріву всі устілки почали одночасно нагріватися;
- вкладні устілки краще поглинали теплове випромінювання, а потім віддавали його у такій послідовності: одношарова з повісті, двошарова зі шкіри та устілкового картону, тришарова з натуральної шкіри та наповнювачем з кісточок плодів рослин.

Така тепла реакція одношарової устілки з повісті обумовлюється тим, що повітряні пори в повісті складають не менше 75% об'єму, повітропроникність складає 40–60 дм³/м²·с, а її щільність коливається в межах від 200 до 430 кг/м³ [20]. Тришарова устілка зі шкіри з наповнювачем з кісточок плодів рослин

довше нагрівається, але і довше тримає тепло за рахунок накопичення тепла не тільки в двох шарах шкіри, а й кісточками плодкових рослин, розташованими між шарами, температуру після нагріву яких підтримує нагрітий повітряний простір між ними. Двошарова вкладна устілка зі шкіри та устілкового картону має середні показники нагріву та охолодження, це обумовлено структурою шкіри та її характеристиками: пористість складає 52%, повітропроникність – $100\text{--}800\text{ см}^3/\text{см}^2\cdot\text{год}$ для м'яких шкір без лицьового покриття та $10\text{--}100\text{ см}^3/\text{см}^2\cdot\text{год}$ для шкір з лицьовим покриттям [21].

Висновки. В роботі оцінювалася здатність обраних вкладних устілок забезпечувати тепловий комфорт: одношарової з повсті; двошарової з натуральної шкіри та устілкового картону; тришарової з натуральної шкіри та наповнювачем з кісточок плодкових рослин.

Застосовуючи спосіб інфрачервоної термографії, були отримані термограми – зображення в інфрачервоних променях, які показали розподіл температурних полів досліджуваних вкладних устілок.

За 15 хвилин вкладні устілки набрали тепло та нагрілися з 15°C до 33°C , при цьому вкладні устілки одношарові з повсті набирали температуру 37°C за 6 хв, двошарові – 8 хв, а тришарові – 10 хв. За 12 хвилин вкладні устілки охолоджувалися до наступних температурних показників: одношарові з повсті – 15°C , двошарові – 16°C , а тришарові – 18°C .

Таким чином, швидше за всіх нагрівається та охолоджується вкладна устілка одношарова з повсті, тришарова устілка довше нагрівається, але і довше тримає тепло, двошарова вкладна устілка має середні показники нагріву та охолодження. Тобто зазначені вкладні устілки можуть забезпечити тепловий комфорт людини у внутрішньому просторі взуття та рекомендовані для використання з урахуванням особливостей їх нагрівання та охолодження.

Серед досліджуваних вкладних устілок тришарову вкладну устілку з натуральної шкіри та наповнювачем з кісточок плодкових рослин можна рекомендувати носити для зниження ризику простудних захворювань та розвитку грибкових утворень у взутті.

Література

1. Колесников П.А. Основы проектирования теплозащитной одежды / П.А. Колесников. – М. : Легкаяиндустрия, 1971. – 321 с.
2. Афанасьева Р.Ф. Некоторые способы поддержания температурного гомеостаза в условиях воздействия на человека холодового фактора. Теоретические и практические проблемы терморегуляции / Р.Ф. Афанасьева. – Ашхабад, 1982. – 152 с.
3. Бегняк В.І. Основы конструирования і проектування виробів із шкіри : навч. посібник / Бегняк В.І. – Хмельницький : ТУП, 2002. – 259 с.
4. Бартон А. Человек в условиях холода / А. Бартон, О. Эдхолм. – М. : Легкаяиндустрия, 1957. – 287 с.
5. Мирошников Е.А. Исследование влияния формы свяжи влаги с кожей на теплозащитные свойства кожи / Е.А. Мирошников // Товароведение. – 1974. – № 4. – С. 65–69.
6. Вишенский С.А. Разработка методов определения, исследования и прогнозирования теплопереносных свойств обувных материалов : дис. ... канд. техн. наук / Вишенский С.А. – Каунас, 1994. – 184 с.
7. Особенности защиты человека от воздействия низких температур : монография / [В.Т. Прохоров и др. ; под. общей ред. проф. В.Т. Прохорова]. – Шахты : Издательство ГОУ ВПО "ЮРГУЭС", 2007. – С. 106–107.
8. Matusiak M. Thermal insulation of apparelfabrics (in Polish). InstytutWłókiennictwa, 2011.
9. Lasek W. Footwear materials science (in Polish). Wyższa Szkoła Inżynierska im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, 1986.
10. Marcinkowska E., Żuk W. Stream transport in leathers and leather-like materials (in Polish). Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie. 2006; 718: 99–109.
11. Lim G. Y., Lee S. D., DongCh K., Young S. Study of comfortableness relative to emotional characteristic of outer – innercover of sports shoes. Proceedings of the Annual Meeting of Japan Ergonomics Society. 43th Triennial Congress, 2002.
12. Kuklane K., Holmer I., Havenith G. Validation of a model for prediction of skin temperatures in footwear. Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science. 2000; 19(1): 29–34.
13. Zieliński J. Water and watervapour migration through the textile packages (in Polish), Przegląd Włókienniczy. 2002; 4: 13–16.
14. Цой П. В. Методы расчета отдельных задач тепломассопереноса / П. В. Цой. – М. : Энергия, 1971. – 384 с.
15. Иванов М.Н. Формирование свойств пакетов материалов для повышения комфортности обуви : автореф. на соискание науч. степени д-ра техн. наук / Иванов М. Н. – Л. : ЛИТЛП, 1983.
16. Первая Н. В. Аналіз методів та приладів для визначення теплофізичних властивостей матеріалів для взуття / Н. В. Первая // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. – 2017. – № 6 (116). – С. 96–106.
17. Rosemary Bom Conselho Sales, Romeu Rodrigues Pereira, Maria Teresa Paulino Aguilar, Antônio Valadão Cardoso. Thermal comfort of seats as visualized by infrared thermography. Applied Ergonomics. Volume 62, July 2017, Pages 142–149.

18. Лобанова Г.Є. Сучасні матеріали для вкладних устілок: ергономічні та екологічні аспекти / Г.Є. Лобанова, В.М. Цимбалюк, Ю.В. Пухальська // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 5. – С. 129–132.

19. Пат. 56216 Україна, МПК А 61 F 5/14. Акупресурна устілка / Остапчук О.І (UA), Остапчук І.П. (UA), Остапчук Н.В. (UA), Перває Н.В. (UA), Рогоза Ф.А. (IT) ; КНУД. – № u 201006449 ; заявл. 27.05.2010 ; опубл. 10.01.2011. – 4 с.

20. Мотовилин Г.В. Автомобильные материалы : справочник. – 3-е изд., перераб. и доп. / Г.В. Мотовилин, М.А. Масино, О.М.Суворов. – М. : Транспорт, 1989. – 464 с.

21. Захаренко В.О. Вивчення мікроструктури натуральної шкіри та її вплив на фізичні властивості : монографія / В.О. Захаренко, С.В. Сорокіна, В.О. Акмен. – Х. : ХДУХТ, 2019. – 144 с.

References

1. Kolesnikov P.A. Osnovy proektirovaniya teplozashitnoj odezhdy / P.A. Kolesnikov. – M. : Legkayaindustriya, 1971. – 321 s.
2. Afanaseva R.F. Nekotorye sposoby podderzhaniya temperaturnogo gomeostaza v usloviyah vozdeystviya na cheloveka holodovogo faktora. Teoreticheskie i prakticheskie problemy termoregulyacii / R.F. Afanaseva. – Ashhabad, 1982. – 152 s.
3. Behniak V.I. Osnovy konstruiuvannya i proektuvannya vyrobiv iz shkiry : navch. posibnyk / Behniak V.I. – Khmelnytskyi : TUP, 2002. – 259 s.
4. Barton A. Chelovek v usloviyah holoda / A. Barton, O. Edholm. – M. : Legkayaindustriya, 1957. – 287 s.
5. Miroshnikov E.A. Issledovanie vliyaniya formy svyati vlagi s kozhej na teplozashitnye svoystva kozhi / E.A. Miroshnikov // Tovarovedenie. – 1974. – № 4. – S. 65–69.
6. Vishenskiy S.A. Razrabotka metodov opredeleniya, issledovaniya i prognozirovaniya teploperenosnykh svoystv obuvnykh materialov : dis. ... kand. tehn. nauk / Vishenskiy S.A. – Kaunas, 1994. – 184 s.
7. Osobennosti zashity cheloveka ot vozdeystviya nizkikh temperatur : monografiya / [V.T. Prohorov i dr. ; pod. obshej red. prof. V.T. Prohorova]. – Shahty : Izdatelstvo GOU VPO "YuRGUES", 2007. – S. 106–107.
8. Matusiak M. Thermal insulation of apparelfabrics (in Polish). Instytut Włókiennictwa, 2011.
9. Lasek W. Footwear materials science (in Polish). Wyższa Szkoła Inżynierska im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, 1986.
10. Marcinkowska E., Żuk W. Stream transport in leathers and leather-like materials (in Polish). Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie. 2006; 718: 99–109.
11. Lim G. Y., Lee S. D., DongCh K., Young S. Study of comfortableness relative to emotional characteristic of outer – innercover of sports shoes. Proceedings of the Annual Meeting of Japan Ergonomics Society. 43th Triennial Congress, 2002.
12. Kuklane K., Holmer I., Havenith G. Validation of a model for prediction of skin temperatures in footwear. Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science. 2000; 19(1): 29–34.
13. Zieliński J. Water and watervapour migration through the textile packages (in Polish), Przegląd Włókienniczy. 2002; 4: 13–16.
14. Coj P. V. Metody rascheta otdelnykh zadach teplomassoperenosa / P. V. Coj. – M. : Energiya, 1971. – 384 s.
15. Ivanov M.N. Formirovanie svoystv paketov materialov dlya povysheniya komfortnosti obuvi : avtoref. na soiskanie nauch. stepeni d-ra tehn. nauk / Ivanov M. N. – L. : LITLP, 1983.
16. Pervaia N. V. Analiz metodiv ta pryladiv dlia vyznachennia teplofizychnykh vlastyvostei materialiv dlia vzuttia / N. V. Pervaia // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya Tekhnichni nauky. – 2017. – № 6 (116). – S. 96–106.
17. Rosemary Bom Conselho Sales, Romeu Rodrigues Pereira, Maria Teresa Paulino Aguiar, Antônio Valadão Cardoso. Thermal comfort of seats as visualized by infrared thermography. Applied Ergonomics. Volume 62, July 2017, Pages 142–149.
18. Lobanova H.Іe. Suchasni materialy dlia vkladnykh ustilok: erhonomichni ta ekolohichni aspekty / H.Іe. Lobanova, V.М. Tsymbaliuk, Yu. V. Pukhalska // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2012. – № 5. – S. 129–132.
19. Pat. 56216 Ukraina, МПК А 61 F 5/14. Акупресурна устілка / Остапчук О.І (UA), Остапчук І.П. (UA), Остапчук Н.В. (UA), Пervaia N.V. (UA), Rohoza F.A. (IT) ; КНУД. – № u 201006449 ; zaiaavl. 27.05.2010 ; opubl. 10.01.2011. – 4 s.
20. Motovilin G.V. Avtomobilnye materialy : spravochnik. – 3-e izd., pererab. i dop. / G.V. Motovilin, M.A. Masino, O.M.Suvorov. – M. : Transport, 1989. – 464 s.
21. Zakharenko V.O. Vyvchennia mikrostruktury naturalnoi shkiry ta yii vplyv na fizychni vlastyvosti : monohrafiia / V.O. Zakharenko, S.V. Sorokina, V.O. Akmen. – Kh. : KhDUKht, 2019. – 144 s.

Надійшла / Paper received: 01.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 01.06.2020

УДК 687.016:687:658.512
DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-41

А. Л. СЛАВІНСЬКА, О. П. СИРОТЕНКО,
В. В. МИЦА, О. М. ДОМБРОВСЬКА
Хмельницький національний університет

ТЕХНОЛОГІЯ МІНІМІЗАЦІЇ ТРУДОРЕСУРСНИХ ЗАТРАТ НА ЗАСАДАХ КРУГООБІГУ СТИЛЬОВОГО БРЕНДУ В ПРОЦЕСАХ РЕДИЗАЙНУ ДЖИНСІВ

Розроблена технологія регулювання конструкторської підготовки оновлення асортименту на засадах методів ремонту. Розроблено алгоритм врахування рольової моделі суббренду джінсів для вторинного редизайну. Запропонована методика параметризації конструкції ділянок оновлення з урахуванням топографії зношування та малоопераційної технології.

Ключові слова: стильовий бренд, джінси, редизайн, топографія зношування, параметризація конструкції, малоопераційна технологія.

A. SLAVINSKA, O. SYROTENKO,
V. MYTSA, O. DOMBROVSKA
Khmelnitsky National University

TECHNOLOGY OF LABOR RESOURCES COSTS MINIMIZATION ON THE BASIS OF THE BRAND STYLE CIRCULATION IN THE PROCESSES OF JEANS REDESIGN

One of the ways to improve the situation in the domestic market is the introduction of modern technologies to regulate the flexibility of design training models to update the range using traditional methods of repair. In the conditions of modern consumption of fashion goods more and more often pay attention to the possibility of redesign of old things on the basis of the ethical idea of ecological safety of the environment while maintaining the ergonomics of design and modern purpose of the restored product. The role model of consumption determines the influence of the environmental component on the critical attitude to symbolic associations with the branding of updating things. The strategy of emotional branding is based on attracting customers through the manifestation of independence and joint creation of design or ideas for updating an existing product. Personal feelings and experience determine the relevance of the direction of development of a subbrand of recycled clothing on the basis of the clothing cycle within one brand or conglomerate of brands, in particular denim microstyle in modern pants.

The issue of jeans redesign by traditional methods of repair refers to the modern technology of garments design flexibility and renewal of their assortment within the brand style. It is of current concern to improve competitiveness and quality of female pants during labor resources costs minimization in the processes of their renewal.

Within 3-4 years the constructive unification of the model range of jeans provides technical conditions of parameterization not only of the sizes of the principle components but also the topography of their wear and tear taking into account the consumer's movements ergonomics in order to provide the quality of new parts or inserts. This provides the opportunity to develop typical schemes of gradation of pants basic details and parameter schemes of repair patterns for jeans small details.

The main requirements to the technology of jeans repair (redesign), which provide high quality indicators, have been determined. Taking into account the efficiency of low operational technology of repair the variants of separate parts processing have been offered.

The offered technology of labor resources costs minimization in the processes of jeans redesign points out the possibility of resource saving renewal of the popular cloth assortment on the basis of sustainability. It also provides a short term and low cost redesign of old clothes within current fashion and that is why it shall be recommended to a wide range of consumers.

Key words: style brand, jeans, redesign, topography of wear and tear, construction parameterization, low operational technology.

Постановка проблеми. Одним із напрямків удосконалення кон'юнктури внутрішнього ринку є впровадження сучасних технологій регулювання гнучкості конструкторської підготовки моделей оновлення асортименту з використанням традиційних методів ремонту. В умовах сучасного споживання товарів моди дедалі частіше звертають увагу на можливість редизайну старих речей на засадах етичної ідеї екологічної безпеки довкілля при збереженні ергономіки формоутворення і сучасної цілеспрямованості реставрованого виробу. Рольова модель споживання визначає вплив екологічної компоненти на критичне відношення до символічних асоціацій з брендингом оновлення речей. Стратегія емоційного брендингу ґрунтується на привабленні клієнтів через прояв самостійності і спільного створення дизайну чи ідей оновлення існуючого виробу. Особистісні відчуття і досвід визначають актуальність напрямку розробки суббренду одягу вторинної переробки на засадах кругообігу одягу в межах одного бренду або конгломерату брендів, зокрема джінсового мікростілю в сучасних штанах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Одна із останніх парадигм бачення сучасних планетарних реалій – екодизайн одягу, яка містить елементи екокультури в найпопулярніших напрямках відомих виробників одягу, зокрема, «Levis» мають лінії безпечних джінсів [1]. У екологічно раціональному одязі від Bodkin вдало поєднані традиційні методики ремісництва з новітніми технологічними дослідженнями з переробки пластика [2]. Процес виробництва джінсової тканини містить виробничий цикл прання для досягнення модного зовнішнього вигляду витирання, розглянутого з позицій міцності і комфортності в дослідженнях [3].

Дослідження [4] пропонує ексклюзивну технологію витирання джінсів, яка може бути включена в сценарій експериментального дизайну на основі стратегії корпоративної соціальної відповідальності у намірах придбати чи оновити річ [5]. Застосування ціннісних сегментів у визначенні соціальної активності споживача різних вікових категорій розглянуто у [6] і теоретично обґрунтовано в характеристиці цінкових груп для використання в технологічних процесах [7].

Гендерні відмінності відношення споживачів до моди обумовлені потребою в унікальності і соціальній ідентичності [8]. Отже, психологічні потреби споживачів впливають на прояв індивідуального сприйняття одягу у намірах придбати річ. Гнучка індивідуалізація і сегментація одягу для різних споживачів визначає тенденцію поступової трансформації крупного масового виробництва на засадах інтерактивного генетичного алгоритму (IGA) [9].

Техніко-економічні переваги використання віртуальних фітінгів з 3D моделюванням ділянок одягу спрямовані на автоматизацію процесів проектування на більш високому рівні [10]. Застосування принципу універсальності, як альтернативи індивідуальності конструкції штанів за статеві-віковою ознакою, розглянуто в дослідженнях [11, 12]. Однак, функціональна підпорядкованість ділянок зношування у відносинах конструктивно-технологічної діяльності параметрів оновлення не розглянута і потребує окремого дослідження.

Отже, існують об'єктивні причини для розробки сценаріїв експериментального дизайну у формі тематичних досліджень розширення можливостей використання бренду існуючих речей за показником стійкості конкурентних переваг.

Мета і завдання дослідження. Мета – підвищення конкурентоздатності та якості жіночих штанів при мінімізації трудоресурсних затрат в процесах оновлення на засадах кругообігу стильового бренду.

Завдання – обґрунтувати методологію типізації конструктивно-технологічних рішень жіночих штанів засобами редизайну; розробити концепцію джинсового мікростилу за композиційною доцільністю в ділянках оновлення; розробити рекомендації з конструктивного моделювання редизайну ділянок зношення.

Виклад основного матеріалу. Інноваційна технологія масового конструювання в індустрії джинсової моди ґрунтується на індивідуальній версії класичних джинсів відповідно до типу тіла кожної жінки [13]. Для розробки портфоліо деталей редизайну в інтерактивному процесі ритмічної і метричної перебудови елементів декору на шаблоні 2D базових конструкцій використана методика фітінгу, запропонована в [14], яка дозволяє визначити зони оновлення зношених ділянок.

Спільна конструктивна форма джинсів в межах поточної моди дозволяє зробити акцент на форму деталей, місце розташування, оздоблення. Процес проектування джинсів підпорядкований можливостям технологічного виготовлення і економічній вигоді виробника.

Творча робота художнього проектування на основі редизайну існуючого виробу повинна враховувати наступні вимоги уніфікації:

- конкретний асортимент для оновлення одягу;
- обрані основні і взаємозамінювані тканини;
- застосування модних силуетів в кожній віковій і повнотній групі;
- обмеженої кількості конструктивних ділянок для оновлення;
- використання уніфікованих деталей для збереження цілісності композиції в стильовій образності моделей.

Штани спортивного стилю (як мікростиль - джинсовий стиль) характеризується підкресленою формою з позицій зручності людини в русі і діях. Підкреслюється підтягнутість, стрункість, спортивність фігури людини. Характерними для виробів спортивного стилю є варіації накладних і прорізнних кишень, пояси, пати, хомутики, кокетки, строчки. Концентрується увага на різноманітній фурнітурі, ефекті зістарення матеріалу. Членування форми та композиційне рішення декоративних і конструктивних ліній повинні бути лаконічними, чіткими.

Класичні чотиришовні штани (група «Basis») позиціонують постійних споживачів продукції і стабільність виробництва, що дозволяє застосовувати для цільового оновлення стратегію диверсифікації композиції моделі у вигляді осучаснення елементів форми для жінок молодшої і середньої вікової групи.

За матеріалами інтернет-ресурсів [15] простежені тенденції збереження модних трендів на протязі 3-4 років. В 2019 році зберігається класика трьох силуетних форм: звужені, прямі, розширені. Розташування поясу – на антропометричному рівні, довжина – класична і вкорочена (часто за рахунок відкладної манжети). Кишені бічні у відрізних бочках з різним оформленням входу в кишеню, у швах; задня кишеня – накладна. У джинсах - традиційна палітра синього кольору. Портфоліо модних трендів наведено на рис. 1.



Рис. 1. Портфоліо модних трендів жіночих джинсів

Типова модель жіночих джинсів (рис. 2) відповідає вимогам уніфікації за повторюваністю структурних елементів в межах 60-80%, що забезпечує технічні умови параметризації конструктивно-уніфікованих рядів в умовах дрібносерійного виробництва. Оскільки базова модель жіночих джинсів є

конкурентоздатною за конструкцією і матеріалами, то для визначення факторів зношування розглянута топографія пошкоджень. На базі аналізу ступеня зношування костюмних і джинсових штанів були складені топографії зон їх пошкодження. Існують більш менш встановлені місця пошкодження. Штани зношуються на ділянці бічних кишень, застібки, колінах, низу, крокових швів та ділянці сидіння. Найбільше руйнування тканини виникає через витирання саме в місцях її згинів і на плоских ділянках (рис. 3).

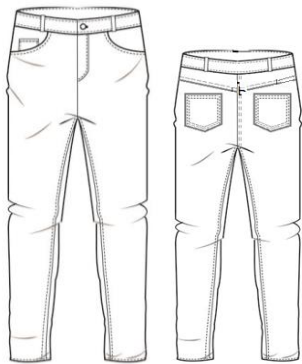


Рис. 2. Типова модель жіночих джинсів

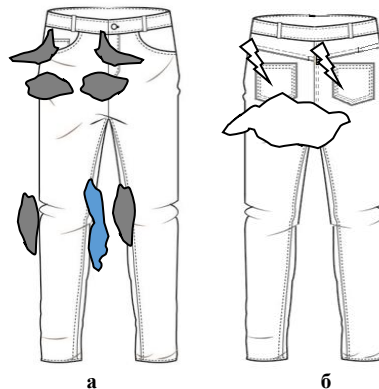


Рис. 3. Топографія зон руйнування штанів:
а – вигляд спереду; б – вигляд ззаду

Умовні позначення:
- дірки;
- потертості;
- розриви;



Розподіл на конструктивні зони (рис. 4) дозволяє визначити топографію місць зношування з урахуванням ергономічних схем рухів [12], наведених на рис. 5.

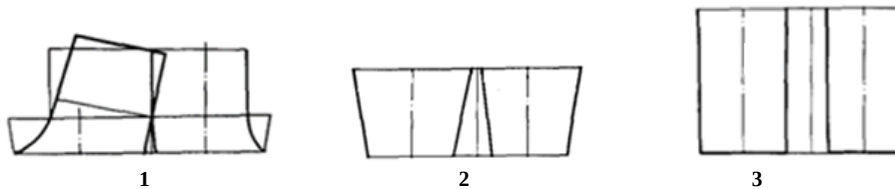


Рис. 4. Схема конструктивних модулів функціональних ділянок штанів за поєднанням конструктивних зон:
1 – тазова; 2 – середня; 3 – нижня



Рис. 5. Зміни системи «людина – виріб» в динаміці:
а – ергономічні схеми; б – положення низу штанів в статичі та динаміці

Положення «ходьба» характеризують зростання розмірних ознак: обхват талії, обхват коліна, відстань від лінії талії до площини сидіння, відстань від лінії талії до коліна. Зменшувані розмірні ознаки – відстань від лінії талії до площини сидіння, відстань від лінії талії до коліна.

Положення «присідання» - зростання розмірних ознак: обхват талії, обхват коліна, відстань від лінії талії до площини сидіння, задня поперечна дуга сидничної ділянки. Зменшувані розмірні ознаки – відстань від лінії талії до коліна.

Положення «підйом по сходах» - зростання розмірних ознак: довжина ноги на передній поверхні до щиколотки, відстань від лінії талії до площини сидіння, обхват коліна, обхват стегна. Зменшувані розмірні ознаки: відстань від лінії талії до коліна.

Найбільшій деформації в динаміці зазнає тазова ділянка штанів. Максимальний динамічний приріст для відстані від лінії талії до площини сидіння складає 33,5%, для задньої поперечної дуги сидничної ділянки – 9,1%. Ці значення враховані в межах силуетної прибавки на лінії стегон: ПКст = 1-4 см.

При розгляді комплексу динамічних поз задня тазова ділянка штанів видовжується вниз, передня – навпаки піднімається догори, утворюючи залом. Розглянуті змінювання розмірних ознак пояснюють тренд «руйнування» на окремих ділянках джинсових штанів, який присутній як композиційний елемент в колекціях щонайменше останніх 10 років.

Психологічний портрет споживача редизайну штанів з урахуванням дослідження [15] наступний: конформісти у відношенні до моди належать до класу матеріалістів, за категорією цінностей – мають матеріальний інтерес, за рівнем мотивацій – обмежена досяжність і стильність, за критерієм вибору –

доступність і прийнятність. У зоні моди споживчий попит характеризує актуальний асортимент – С, в маркетинговій системі «4С» [16].

Актуальний асортимент типової конструкції джинсів досліджено на основі вихідної модельної конструкції ВМК класичних штанів, побудованої за ЄМКО РЕВ.

Збереження асортиментного виду штанів забезпечує середній ремонт відповідно до місць зношування, наведених на рис. 3.

Оскільки класичні джинсові штани характеризуються щільним приляганням по стегнах і дещо заниженою лінією талії, у ВМК вносять наступні зміни: звужують ширину кроку задньої частини на 2,0 см відносно т. 58 (система 11). При більшому заниженні лінії талії зниження передньої частини штанів повинне бути більшим, ніж задньої. Параметри моделювання джинсів наведені в табл. 1.

Конструктивно-декоративними деталями штанів є кокетки та бочки. При їх побудові виконують переведення або повне закривання талієвих виточок. Найпоширенішою конструктивно-декоративною деталлю штанів є кишені. За конструкцією кишені є у шві, прорізні, у відрізню бочку, накладні. За місцем розташування: бічні, передні, задні, внутрішні.

Таблиця 1

Моделювання базової конструкції жіночих джинсів

Характеристика ділянок моделювання	Параметри, см
Моделювання передньої кишені з відрізню бочком	
Початок входу в кишеню по лінії талії - 8,0÷12,0 см від бічного зрізу.	10,0
Кінець входу по бічному зрізу - 7,0÷8,0 см від лінії талії.	8,0
Моделювання передньої накладної кишені	
Ширина кишені: 6,0÷8,0 см.	7,0
Глибина кишені: 8,0÷9,0 см.	8,0
Відстань від бічного зрізу до краю кишені – 3,0÷4,0;	4,0
Відстань від лінії талії до лінії входу в кишеню – 4,0	4,0
Моделювання задньої накладної кишені	
Довжина входу: 14,0÷15,0 см.	15,0
Ширина кишені внизу: 12,0÷13,0 см.	13,0
Глибина кишені: 14,0÷15,0 см.	14,0
Довжина бічних сторін кишені: 10,0÷12,0 см.	12,0
Лінію входу в кишеню розташовують на 3,0 см нижче лінії кокетки та на відстані 4,0 см від бічного зрізу задньої половини.	3,0
	4,0
Моделювання кокетки	
Ширина кокетки:	
по середньому зрізу: 6,0÷9,0 см;	7,0
по бічному зрізу: 3,0÷5,0 см.	4,0
Розхил задньої виточки переводять у зріз кокетки способом шаблону.	

Конструктивно-декоративними швами, що визначають модельні особливості ремонту є лінії підрізів для вставок. При їх побудові враховують технічне моделювання пов'язане з перекриттям зношеної частини.

Розповсюдження джинсового стилю на одяг різних вікових груп як дитячих, так і дорослих розширило волокнистий склад матеріалів з включенням синтетичних і еластичних волокон та збереженням частини натуральних волокон (бавовна, льон) в межах 40%. За результатами аналізу костюмно-платтяних тканин ЗАТ фірми «Едельвіка» (м. Луцьк), для виготовлення і оновлення жіночих джинсових штанів обрані тканини, характеристика яких наведена в табл. 2.

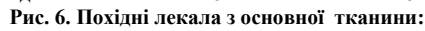
Таблиця 2

Характеристика основних і підкладкових матеріалів для виробу

Назва матеріалу	Артикул	Ширина, см	Поверхнева щільність, г/м	Сировинний склад, %
Основні				
Джинс	ТПК-22	145	275	Поліестер – 58, бавовна – 32, льон – 5, еластин - 5
Сатурн	ТПК -38	150	265	Поліестер – 57, бавовна – 30, льон – 7, еластин - 6
Азалія	ТПК-1782	140	265	Поліестер – 53, бавовна – 30, льон – 12, еластин - 5
Підкладкові				
Підкладкова	52424	150	72	Поліестер - 100
Yessgvoe	V710	150	100	Поліестер - 100

Кількісна характеристика числа деталей модельної конструкції джинсів, яка в більш повній мірі характеризує ділянки зношення, дозволяє визначити класифікаційні характеристики побудови лекал: основні – бочок і передня частина – 4 деталі; кокетка і задня частина – 4 деталі; похідні – кишеня передня: у бочку – 2 деталі, накладна у правому бочку – 1 деталь; задня кишеня накладна з обшивкою – 4 деталі; пояс – 2 деталі; хомутики – 5 деталей; підкладка передньої кишені – 2 деталі.

Параметричні схеми побудови лекал для ремонту наведені на рис. 6.



Herald of Khmelnytskyi national university, Issue 3, 2020 (285)

Параметрично підтверджено взаємозв'язок топографії зношування конструктивних зон зі змінами розмірних ознак в системі рухів одягненої людини.

Методику формування конструктивно-уніфікованих рядів модельних варіантів деталей оновлення визначає ефективність малоопераційної технології виконання операцій ремонту за показниками якості.

Література

1. Sudacevschi S. Changes and modifications of the trousers patens for non-standard figures. Sudacevschi S. // *Studiul Artelor și Culturologie: Istorie, Teorie, Practică*. - 2015. - Vol. 4(27). - P. 81-85.
2. «Еко-шик от BODKIN»: журнал о современном дизайне, искусстве и экологически дружественном образе жизни [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://igrow.com.ua>.
3. Nahar K., Islam M., Ferdush J., Akter T. Optimization of Time and Temperature for Stone Washed Denim Fabric. *Trends Textile Eng Fashion Technol.* - 2019. - Vol. 5. - Issue 3. - P. 655-660.
4. Білей-Рубан Н.В. Метод комп'ютерної візуалізації зміни товщини джинсових тканин та деніму у відповідності до «ефектних» обробок / Н.В. Білей-Рубан, Т.В. Облещук // *Вісник Хмельницького національного університету*. - 2009. - № 2. - С. 128-133.
5. Guedes D. G. New Paradigms of the Fashion System. *Trends in Textile Engineering & Fashion Technology*. - 2019. - Vol. 5. - Issue 3. - P. 640-642.
6. Ceballos L.M., Bejarano M. Value segmentation of adolescents: a performance of appearance, *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*. - 2018. - Vol. 11(2). - P. 148-159.
7. Славінська А.Л. Модель корегування етапів конструкторської підготовки виробництва швейних виробів різних вікових груп / А.Л. Славінська // *Вісник Хмельницького національного університету*. - 2018. - №3. - С. 102-108.
8. Seo S., Lang C. Psychogenic antecedents and apparel customization moderating effects of gender. *Fashion and Textile*. - 2019. - Vol. 6(19). - P.1-19.
9. Zarezade T., Payvandy P. 3D Garment Design using Interactive Genetic Algorithm and Clustering, *Trends in Textile Engineering & Fashion Technology*. - 2019. - Vol. 5(1). - P. 594-597.
10. Sudacevschi S. Changes and modifications of the trousers patens for non-standard figures, *Studiul Artelor și Culturologie: Istorie, Teorie, Practică*. - 2015. - Vol. 4(27). - P. 81-85.
11. Slavinska A., Syrotenko O., Zakharkevich O., Kuleshova S. Development of a technology for interactive design of garments using add-ons of a virtual mannequin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. - 2018. - Vol. 6. - Issue 1 (96). - P. 28-38.
12. Slavinska A., Syrotenko O., Dombrovska O., Mytsa V. Simulation model of the morphological field of data for constructing a universal design of trousers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. - 2020. - Vol.1. - Issue 1(103). - P. 52-61.
13. Nayak R., Padhye R., Wang L., Chatterjee K., Gupta S. The rolle of mass customisation in the apparel industry. *International journal of fashion Design, Technology and Education*. - 2015. - Vol. 8. - Issue 2. - P. 162-172.
14. Krzywinski S., Siegmund J. 3D Product Development for Loose-Fitting Garments Based on Parametric Human Models. 17 th Worde Textill Conference AUTEX 2017 – Textiles – Shaping the Future IOP Publishing IOP Cont. Series: Materials Science and Engineering 254. - 2017. - P. 1-8.
15. Модні штани 2018-2019 року, фото, модні тенденції штанів, тренди [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://womanly.com.ua/?p=70>.
16. Славінська А.Л., Іванова М., Коцюк О. Система верифікації портфолію моделей одягу за сценарієм вподобань споживачів. Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених та студентів 2019 «Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості». - 2019. - С. 18-19.

References

1. Sudacevschi S. Changes and modifications of the trousers patens for non-standard figures. *Studiul Artelor și Culturologie: Istorie, Teorie, Practică*. - 2015. - Vol. 4(27). - pp. 81-85.
2. «Eko-shyk ot BODKIN»: zhurnal o sovremennom dizaine, yskusstve y ekologicheskyy druzhestvennom obraze zhyzny [Elektronnyi resurs]. - Rezhym dostupu: <http://igrow.com.ua>.
3. Nahar K., Islam M., Ferdush J., Akter T. Optimization of Time and Temperature for Stone Washed Denim Fabric. *Trends Textile Eng Fashion Technol.* - 2019. - Vol. 5. - Issue 3. - pp. 655-660.
4. Bilei-Ruban N.V. Metod kompiuternoї vizualizatsii zminy tovshchyny dzhynsovykh tkanyn ta denimu u vidpovidnosti do «efektnykh» obrobok. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. - 2009. – Vol. 2. - pp.128-133.
5. Guedes D. G. New Paradigms of the Fashion System. *Trends in Textile Engineering & Fashion Technology*. - 2019. - Vol. 5. - Issue 3. - pp. 640-642.
6. Ceballos L.M., Bejarano M. Value segmentation of adolescents: a performance of appearance, *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*. - 2018. - Vol. 11(2). - pp. 148-159.
7. Slavinska A.L. Model korehuvannia etapiv konstruktorskoї pidhotovky vyrobnytstva shveinykh vyrobiv riznykh vikovykh hrup. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. - 2018. - Vol. 3. - pp. 102-108.
8. Seo S., Lang C. Psychogenic antecedents and apparel customization moderating effects of gender. *Fashion and Textile*. - 2019. - Vol. 6(19). - pp.1-19.
9. Zarezade T., Payvandy P. 3D Garment Design using Interactive Genetic Algorithm and Clustering, *Trends in Textile Engineering & Fashion Technology*. - 2019. - Vol. 5(1). - pp. 594-597.
10. Sudacevschi S. Changes and modifications of the trousers patens for non-standard figures, *Studiul Artelor și Culturologie: Istorie, Teorie, Practică*. - 2015. - Vol. 4(27). - pp. 81-85.
11. Slavinska A., Syrotenko O., Zakharkevich O., Kuleshova S. Development of a technology for interactive design of garments using add-ons of a virtual mannequin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. - 2018. - Vol. 6. - Issue 1 (96). - pp. 28-38.

12. Slavinska A., Syrotenko O., Dombrovska O., Mytsa V. Simulation model of the morphological field of data for constructing a universal design of trousers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. - 2020. - Vol.1. - Issue 1(103). - pp. 52-61.
13. Nayak R., Padhye R., Wang L., Chatterjee K., Gupta S. The role of mass customisation in the apparel industry. *International journal of fashion Design, Technology and Education*. - 2015. - Vol. 8. - Issue 2. - pp. 162-172.
14. Krzywinski S., Siegmund J. 3D Product Development for Loose-Fitting Garments Based on Parametric Human Models. 17 th Worde Textill Conference AUTEX 2017 – Textiles – Shaping the Future IOP Publishing IOP Cont. Series: Materials Science and Engineering 254. - 2017. - pp. 1-8.
15. Modni shtany 2018-2019 roku, foto, modni tendentsii shtaniv, trendy [Elektronnyi resurs]. - Rezhym dostupu: <http://womanly.com.ua/?p=70>.
16. Slavinska A., Ivanova M., Kotsuk O. Systema veryfikatsii portfolio modelei odiahu za stsenariiem vpodoban spozhyvachiv. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia molodykh vchenykh ta studentiv 2019 «Resursozberihaiuchi tekhnolohii lehkoï, tekstylnoi i kharchovoi promyslovosti». - 2019. - pp. 18-19.

Надійшла / Paper received: 04.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 04.06.2020

УДК 677.024.3

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-42

В. Ю. ЩЕРБАНЬ, А. К. ПЕТКО,
О. З. КОЛИСКО, Ю. Ю. ЩЕРБАНЬ, М. І. ШОЛУДЬКО
Київський національний університет технологій та дизайну

КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ ДЛЯ ВИПАДКУ ЗМІННОГО ДІАМЕТРУ СИРОВИНИ

В роботі наведена структура комп'ютерної програми реалізації алгоритму рекурсії для визначення технологічних зусиль в робочій зоні текстильного обладнання для випадку, коли діаметр нитки має змінне значення. Представлені програмні модулі програми для визначення технологічних зусиль в робочій зоні на текстильних машинах з урахуванням зміни діаметру перетину нитки для широкого спектру комплексних ниток та пряжі. Програмними модулями передбачена можливість завдання закону зміни діаметру перетину нитки у вигляді гармонічної функції або довільній функції користувача з використанням зворотних польських записів у вигляді транслятора. В комп'ютерній програмі закладена можливість зміни швидкості руху нитки, довжини лінії пружної системи заправки, перетину нитки, її вхідного натягу, матеріалу направляючих поверхонь, їх форми. В якості структурних елементів можливо використовувати направляючі великої та малої кривизни, пристрої для натягу нитки та компенсатори натягу. Наведено опис основних процедур та функцій.

Ключові слова: комп'ютерна програма, алгоритм рекурсії, програмні модулі, нитка, гармонічна функція зміни діаметру перетину нитки, транслятор.

V. SHCHERBAN, A. PETKO, O. KOLISKO, Y. SHCHERBAN, M. SHOLUDKO
Kyiv National University of Technologies and Design

COMPUTER IMPLEMENTATION OF RECURRENCE ALGORITHM FOR CASE OF VARIABLE RAW MATERIAL DIAMETER

The paper presents the structure of a computer program for the implementation of the recursion algorithm to determine the technological effort in the working area of textile equipment for the case when the diameter of the thread has a variable value. The program modules of the program for determination of technological efforts in a working zone on textile machines taking into account change of diameter of section of a thread for a wide range of complex threads and yarns are presented. The software modules provide the ability to set the law of changing the diameter of the thread in the form of a harmonic function or an arbitrary function of the user using inverse Polish records in the form of a translator. The computer program includes the ability to change the speed of the thread, the length of the line of the elastic refuelling system, the cross section of the thread, its input tension, the material of the guide surfaces, their shape. Large and small curvature guides, thread tensioners and tension compensators can be used as structural elements. The description of the main procedures and functions is given.

The main parameter for optimizing the thread feed system is the minimum required tension in the work area. The breakage of the threads during processing on the process equipment is due to the imperfection of the thread feed system and its components. Downtime of equipment associated with the elimination of the cliff, is currently 75-80% of the total downtime. This negatively affects the productivity of equipment, reduces the quality of products. The largest number of breaks falls on the area of the devices of the tension of the thread. Investigations of the influence of the design of the thread tension device on the conditions of its interaction with the thread, taking into account its non-uniformity in the diameter of the cross section, are important in determining the thread tension. The thread tension increases when passing through the refuelling zones of the thread feed system on the process equipment. This increase is due to the interaction of the thread with the guides and tensioning devices. The maximum value of tension will be in front of the working area. Minimizing the tension in front of the work area is important for improving the technological processes of the textile and clothing industry from the standpoint of improving the productivity of technological equipment and product quality. Thus, the topic of this article is relevant, which is important for improving the system of thread supply on process equipment, the design of existing thread tensioning devices and the development of new ones.

Development of special computer programs for determining the tension in the working area, taking into account its unevenness in the diameter of the cross section allows you to quickly determine the necessary technological parameters, adjust both the structure and components of the thread feed system to obtain the minimum necessary tension in the working area.

Objects and methods of research. The thread tensioning devices are an integral part of the thread supply system of the technological equipment of the textile industry. The imperfection of the design of the thread tension devices leads to fluctuations in the thread tension during its processing on the process equipment and violation of the technological regime. First of all, it is influenced by the unevenness of the thread in diameter, due to its structure and material, the specifics of the manufacture of the thread, the length of individual filaments and their relative position relative to each other. The theoretical basis for solving scientific and technical problems are the works of leading scientists in the fields of technology of textile and knitwear production, textile materials science, thread mechanics, elasticity theory, mathematical modelling. Theoretical and experimental research uses methods of theoretical mechanics, resistance of materials, experimental planning and statistical processing of research results.

Keywords: computer program, recursion algorithm, program modules, thread, harmonic function of thread diameter change, translator.

Актуальність. Головним параметром оптимізації системи подачі ниток є мінімально необхідний натяг в робочій зоні. Обривність ниток при переробці на технологічному устаткуванні пов'язана з недосконалістю системи подачі нитки і її складових елементів [3]. Прості устаткування, пов'язані з ліквідацією обриву, складають в даний час 75–80% від загального часу простоїв. Це негативно впливає на продуктивність обладнання, зменшує якість продукції що випускається. Найбільше число обривів випадає на зону розташування пристроїв натягу нитки [8–12]. Дослідження впливу конструкції пристрою натягу нитки на умови його взаємодії з ниткою з урахуванням її нерівномірності по діаметру поперечного перетину мають важливе значення при визначенні натягу нитки. Натяг нитки збільшується при переході по зонах заправки системи подачі нитки на технологічному обладнанні. Це збільшення обумовлено взаємодією нитки

з напрямними та пристроями для натягу [4–9]. Максимального значення натягу буде перед робочою зоною. Мінімізація натягу перед робочою зоною має важливе значення для удосконалення технологічних процесів текстильної та швейної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості продукції, що випускається. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення системи подачі ниток на технологічному обладнанні, конструкції існуючих пристроїв натягу нитки та розробки нових [10–12].

Розробка спеціальних комп'ютерних програм [1, 2] для визначення натягу в робочій зоні з урахуванням її нерівномірності по діаметру поперечного перетину дозволяє оперативно визначати необхідні технологічні параметри, провадити корегування як самої структури, так і складових компонентів системи подачі нитки для отримання мінімально необхідного натягу в робочій зоні [3, 4–9].

Об'єкти і методи дослідження. Складовою частиною системи подачі нитки технологічного устаткування текстильної промисловості є пристрій натягу нитки. Недосконалість конструкції пристроїв натягу нитки призводить до коливання натягу нитки в процесі її переробки на технологічному устаткуванні та порушенню технологічного режиму. В першу чергу, на це впливає нерівномірність нитки по діаметру, що зумовлено її структурою і матеріалом, специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих елементарних волокон та їх взаємним розташуванням відносно один до одного. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці провідних вчених в галузях технології текстильного та трикотажного виробництва, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання. У теоретичних та експериментальних дослідженнях використано методи теоретичної механіки, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень.

Постановка завдання. На основі реалізації алгоритму рекурсії розробити модулі комп'ютерної програми для визначення натягу нитки в робочій зоні у випадку нерівномірності по діаметру її поперечного перетину, яка може бути представлена у вигляді гармонічної функції або у вигляді довільної функції користувача з використанням зворотних польських записів.

Основна частина. На рис. 1 представлена залежність поперечного перетину вовняної пряжі 29,9 текс довжиною 1 м. Аналіз показує, що апроксимувати нерівномірність поперечного перетину можна за допомогою наступного поліному [3]

$$d_H = 2r_H = \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) , \quad (1)$$

де a_i, b_i – амплітуди зміни i -ї гармоніки поперечного перетину; ω_i – частота зміни поперечного перетину i -ї гармоніки; n – число гармонік; t – час.

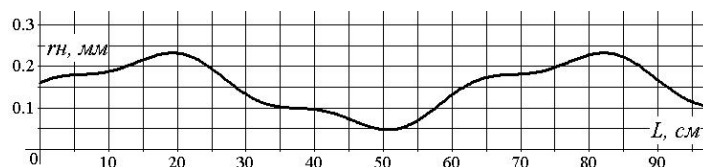


Рис. 1. Залежність поперечного перетину вовняної пряжі 29,9 текс від довжини

Натяг нитки перед робочою зоною, з використанням рекурсивного підходу, буде мати вигляд

$$P_n = P_0(t) \prod_{i=0}^n f_i(P_i) , \quad (2)$$

де $P_0(t)$ – закон зміни вхідного натягу нитки в зоні входу в систему подачі на технологічній машині; $f_i(P_i)$ – функції, які пов'язують натяг нитки до та після елемента системи подачі в кожній зоні; i – поточний номер зони; n – кількість елементів системи подачі ниток конкретної технологічної машини.

Для кожного структурного елемента натяг, з урахуванням залежності (1), буде визначатися за формулою:

$$P_{i+1} = P_i \left[1 + \frac{(R_j + 0.5 \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t))}{[R_j + 0.5 \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) (1 - \delta_{0j})]} (e^{\frac{\beta_j}{\sin \beta_j} \frac{a}{P_i^2} R_j^{b_j} \phi_j} - 1) \right] + \left[\frac{B}{2[R_j + 0.5 \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) (1 - \delta_{0j})]^2} \right] - \left[\frac{B}{2[R_j + 0.5 \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) (1 - \delta_{0j})]^2} \right] \times \left[1 + \frac{(R_j + 0.5 \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t))}{[R_j + 0.5 \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) (1 - \delta_{0j})]} (e^{\frac{\beta_j}{\sin \beta_j} \frac{a}{P_i^2} R_{ms(j)}^{b_j} \phi_j} - 1) \right], \quad (3)$$

де P_{i+1} – натяг нитки після j конструктивного елементу; P_i – натяг нитки до j конструктивного елементу; R_j – радіус кривизни поверхні j конструктивного елементу; δ_{0j} – початкова деформація перетину нитки при набіганні на j конструктивний елемент; δ_j – кінцева деформація перетину нитки при збіганні з j конструктивного елементу; β_j – кут радіального охоплення нитки поверхнею j конструктивного елементу; φ_j – реальний кут охоплення ниткою j конструктивного елементу.

Сумісне рішення системи рівнянь (1)–(3) дозволяє визначити значення натягу нитки в робочій зоні. На рис. 2 представлені комп'ютерні програмні модулі для визначення натягу. Модуль unit Unit4 (рис. 2а) призначений для обрання сировини нитки чи пряжі. Активізуючи кнопку (Button1: TButton) модуля unit Unit4 (рис. 2б) здійснюємо розрахунок параметрів нитки. Процедура (procedure TForm2.N12Click(Sender: TObject)) модуля unit Unit4 (рис. 2в) призначена для обрання періодичного закону зміни діаметру поперечного перетину. Процедура (procedure TForm2.N14Click(Sender: TObject)) модуля unit Unit4 (рис. 2г) призначена для обрання періодичного закону зміни діаметру поперечного перетину.

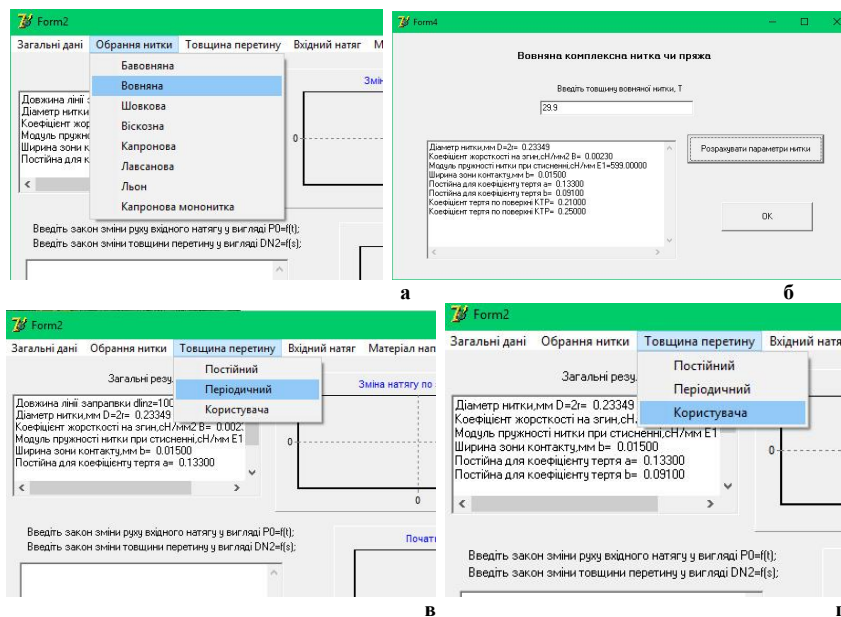


Рис. 2. Комп'ютерні модулі програми для визначення натягу

На рис. 3а представлений модуль Unit22 для реалізації закону зміни діаметру перетину нитки у вигляді гармонічної функції. Коефіцієнти апроксимації обираються на основі експериментальних досліджень. На рис.3б представлена форма TForm2 = class(TForm) модуля Unit2 за допомогою якого можна задавати закон зміни діаметру перетину нитки у вигляді довільній функції користувача. Для цього в програмі використовується транслятор у вигляді модуля unit Synt з використанням зворотних польських записів.

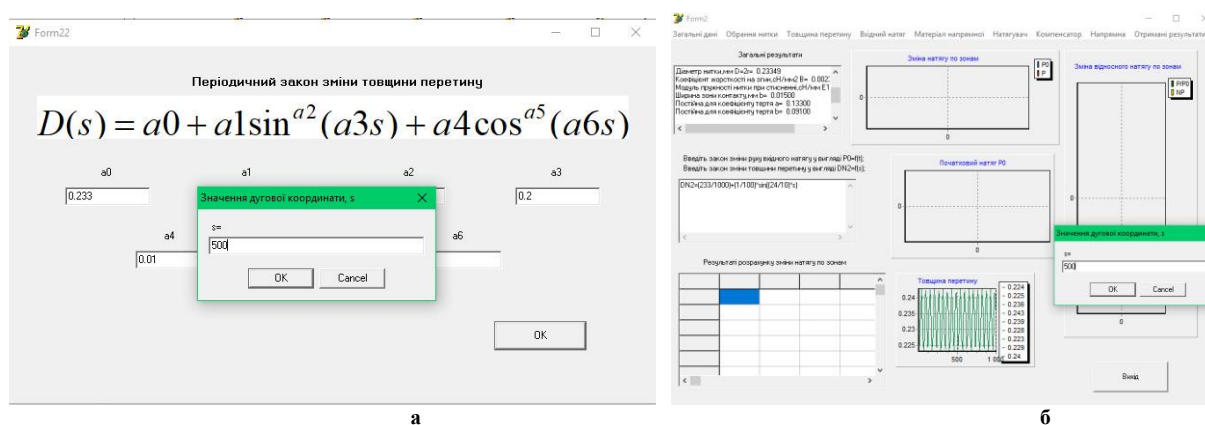


Рис. 3. Форми модулів Unit22 та Unit2

Результати розрахунку значення натягу нитки в робочій зоні технологічної машини для випадку двох вузлів представлені на рис. 4.

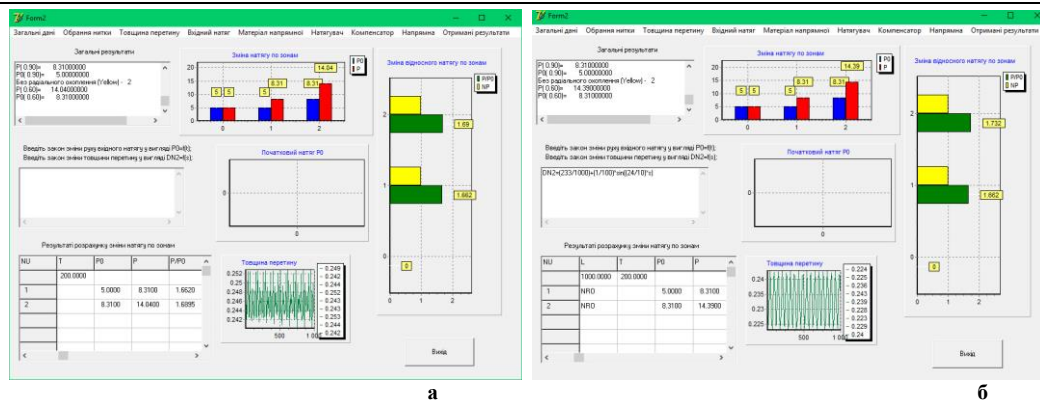


Рис. 4. Результати розрахунку натягу для двох вузлів на технологічній машині

Випадок реалізації закону зміни діаметру перетину нитки у вигляді гармонічної функції представлений на рис. 4а. Випадок реалізації закону зміни діаметру перетину нитки у вигляді довільної функції на рис. 4б.

Висновки. На основі реалізації алгоритму рекурсії розроблені модулі комп'ютерної програми для визначення натягу нитки в робочій зоні у випадку, коли діаметр нитки має змінне значення з використанням зворотних польських записів. Наведена структура комп'ютерної програми реалізації алгоритму рекурсії для визначення технологічних зусиль в робочій зоні текстильного обладнання для випадку, коли діаметр нитки має змінне значення. Представлені програмні модулі програми для визначення технологічних зусиль в робочій зоні на текстильних машинах з урахуванням зміни діаметру перетину нитки для широкого спектру комплексних ниток та пряжі. Програмними модулями передбачена можливість завдання закону зміни діаметру перетину нитки у вигляді гармонічної функції або довільної функції користувача з використанням зворотних польських записів у вигляді транслятора.

Література

1. Свідоцтво № 89242 про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма для реалізації чисельних методів» / Щербань В.Ю., Коліско О.З., Макаренко Ю.В., Мельник Г.В., Петко А.К., Шолудько М.І., Калашник В.Ю. – Дата реєстрації 03.06.2019 р.
2. Свідоцтво № 89243 про реєстрацію авторського права на твір «Програмний комплекс для визначення оптимальної траєкторії нитки на трикотажних машинах» / Щербань В.Ю., Коліско О.З., Макаренко Ю.В., Мельник Г.В., Петко А.К., Шолудько М.І., Калашник В.Ю. – Дата реєстрації 03.06.2019 р.
3. Щербань В.Ю. Комп'ютерне проектування систем: програмні та алгоритмічні компоненти / В.Ю.Щербань, О.З. Коліско, Г.В. Мельник, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник. – К. : Освіта України, 2019. – 902 с.
4. Щербань В.Ю. Оптимізація процесу взаємодії нитки з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей / В.Ю.Щербань, М.І. Шолудько, О.З. Коліско, В.Ю. Калашник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – 225(3). – С. 30–33.
5. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі / В.Ю. Щербань, В.Ю. Калашник, О.З. Коліско, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – 223(2). – С. 25–29.
6. Математичні моделі в САПР. Обрані розділи та приклади застосування / В.Ю. Щербань, С.М. Красницький, В.Г. Резанова. – К. : КНУТД, 2011. – 220 с.
7. Scherban V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I., Kalashnik V.Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry. K.: Education of Ukraine, 2017. 745 p.
8. Щербань В.Ю. Ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.– 2017.– №1(245). – с.83–86.
9. Scherban V., Melnik G., Kirichenko A., Kolisko O., Sheludko M. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface. Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. 6(1). P. 22–26.
10. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи нитконатягувачів текстильних машин/ В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько// Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.– 2016.–№6(243). – с.18–21.
11. Scherban V., Murza N., Kirichenko A., Kolisko O., Sholudko M. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner. Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada.10(2). p. 18–23.
12. Scherban V., Murza N., Kolisko O., Sheludko M., Semenova I. Kinematics of threads cooperates with the guiding surfaces of arbitrary profile. Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. 5(3). p. 23–27.

References

1. Certificate No. 89242 on the registration of copyright for the work "Computer program for the implementation of numerical methods" / Shcherban V.Yu., Kolisko O.Z., Makarenko Y.V., Melnyk G.V., Petko A.K., Sholudko M.I., Kalashnik V.Yu. - Registration Date 03.06.2019.
2. Certificate No. 89243 on the registration of copyright for the work "Computer program" Software complex for determining the optimal trajectory of the thread on knitting machines". Shcherban V.Yu., Kolisko O.Z., Makarenko Y.V., Melnyk G.V., Petko A.K., Sholudko M.I., Kalashnik V.Yu. - Registration Date 03.06.2019.
3. Shcherban V.Yu., Kolisko O.Z., Melnyk G.V., Sholudko M.I., Kalashnik V.Y. Computer systems design: software and algorithmic components. K.: Education of Ukraine, 2019. 902 p.
4. Scherban V.Y., Sholudko M.I., Kolisko O.Z., Kalashnik V.Y. Optimization of the process of interaction of a thread with guides, taking into account the anisotropy of frictional properties. Herald of Khmelnytskyi National University. 2015. 225(3). p. 30–33.
5. Scherban V.Y., Kalashnik V.Y., 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. 2015. 223(2). p. 25–29.
6. Scherban V.Yu., Krasnitsky S.M., Rezanov. V.G. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application. K.: KNUTD. 2011. 220 p.
7. Scherban V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I., Kalashnik V.Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry. K.: Education of Ukraine, 2017. 745 p.
8. Scherban V.Y., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I. Overall performance of compensators of the filament of knitted cars. Herald of Khmelnytskyi National University. 2017. 245(1). p. 83–86.
9. Scherban V., Melnik G., Kirichenko A., Kolisko O., Sholudko M. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface. Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. 6(1). P. 22–26.
10. Scherban V.Y., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I. Comparative analysis of work of natyazhiteley of filament of textile machines. Herald of Khmelnytskyi National University. 2016. 243(6). p. 18–21.
11. Scherban V., Murza N., Kirichenko A., Kolisko O., Sholudko M. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner. Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. 10(2). p. 18–23.
12. Scherban V., Murza N., Kolisko O., Sholudko M., Semenova I. Kinematics of threads cooperates with the guiding surfaces of arbitrary profile. Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. 5(3). p. 23–27.

Надійшла / Paper received: 04.05.2020

Надрукована / Paper Printed : 05.06.2020

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
<http://journals.khnu.km.ua/vestnik/support.htm>

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 10 від 28.05.2020 р.**

Підп. до друку 29.05.2020 р. Ум. друк. арк. 30,36 Обл.-вид. арк. 28,17
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63