

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

4.2022

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2022, Issue 4, Volume 311

Хмельницький

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

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

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2022, № 4(311)

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

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

Включено до науково-метричних баз:

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

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

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

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

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 19 від 28.07.2022 р.**

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

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

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія KB № 24922-14862ПР від 12 липня 2021 року

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

ЗМІСТ

МАЛОГУЛКО Ю. В., ПОВСТЯНКО К. О., ЗАТХЕЙ М. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРУВАННЯ ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАНОВОК З СИСТЕМАМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ	9
ФІНИК І. В. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНИХ БУДИНКІВ	14
АЗАРОВ О. Д., СТАХОВ О. Я. ДВОТАКТНІ БУФЕРНІ ПРИСТРОЇ НАПРУГИ НА БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРАХ	18
АЗАРОВ О. Д., ФІГАС А. С. ТЕРМОСТАБІЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ОПОРНОГО СТРУМУ І НАПРУГИ ДЛЯ ВИСОКОЛІНІЙНОЇ СИСТЕМИ АНАЛОГ-КОД-АНАЛОГ	23
АНТОНЕНКО А. В., БРОВЕНКО Т. В., КРИВОРУЧКО М. Ю., СТУКАЛЬСЬКА Н. М., ТОЛОК Г. А., ТОНКИХ О. Г. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАПІВФАБРИКАТІВ ДЛЯ ПІЦЦІ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ХАРЧОВИХ ВОЛОКОН	29
АСАУЛЮК Т. С., САРІБСЬКОВА Ю. Г., СЕМЕШКО О. Я., КУЛІШ І. М. СИНТЕЗ І СТРУКТУРНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОЧАСТИНОК ZNO	35
БАГРІЙ О. В. ІТЕРАЦІЙНІ АЛГОРИТМИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПЛОСКОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ СЕРЕДОВИЩА З СУТТЄВИМ ПРОЯВОМ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ	42
БЕЗВЕСІЛЬНА О. М., КОТЛЯР С. С., НЕЧАЙ С. О., ІЛЬЧЕНКО М. В. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПРИЛАДОВОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ	46
БЛІК О. Б., КОНОНОВ С. П. НОВИЙ ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ВИСОКОСТАБІЛЬНОГО ДІАПАЗОННОГО НВЧ-ГЕНЕРАТОРА	51
БУРБЕЛО М. Й., ЛЕБЕДЬ Д. Ю., ЛЕЩЕНКО О. Р. ОПТИМІЗАЦІЯ ЧАСУ ЗАРЯДУ/РОЗРЯДУ КОНДЕНСАТОРІВ АКТИВНОГО ФІЛЬТРА ПІД ЧАС КОЛИВАНЬ НАПРУГИ	58
ВЕРЕЧУК О. А., КАМЕНЕВА Н. В. СТВОРЕННЯ СЕНСОРНИХ ПРОФІЛІВ ВИН З СОРТУ РИСЛІНГ РЕЙНСЬКИЙ КРАЇН ЄВРОПИ, АМЕРИКИ І ОКЕАНІ ТА ЇХ ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА	64
ГРАНЯК В. Ф., ГРИЩУК О. А. РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОЇ ІНФОРМАТИВНОСТІ ДІАГНОСТУЮЧИХ ОЗНАК	70
ДАВИДЕНКО Н. В. МЕТА-МОДЕЛЬ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОТОТИПУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЗА ФОРМОЮ ЗОБРАЖЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МГУА НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В НОТАЦІЇ УНІФІКОВАНОЇ МОВИ МОДЕЛЮВАННЯ	78
ДАНИЛКОВИЧ А. Г., ЛІЩУК В. І. ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВІДМОЧУВАЛЬНО-ЗОЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИРОБНИЦТВІ ШКІР	82
ДІТКОВСЬКА О. А., ЛУЩЕВСЬКА О. М., БУХАНЦОВА Л. В. КЕЙП: ІСТОРИЧНЕ МИНУЛЕ ТА МОДНА СУЧАСНІСТЬ	87
ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИН ТИПУ «TURBULA» ПРИ ВИКОНАННІ ПОЛІРУВАННЯ ПОВЕРХНІ ДРІБНИХ ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ	94
КИРИЦЯ І. Ю. ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВИКОРИСТАНОГО РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ ПРИ ХОЛОДНОМУ ФОРМУВАННІ ВИРОБІВ ТИПУ СТАКАН	100
КОЛЕСНИК Т. О., АНДРЕЄВА О. А., ДАVIDЮК Д. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗОЛІННЯ-ЗНЕВОЛОШУВАННЯ ШКІРЯНОГО ПЕРГАМЕНТУ ЗА НАЯВНОСТІ ПРИРОДНОГО МІНЕРАЛУ ЦЕОЛІТУ	105
КОСЕНКОВ В. Д., ІВЛЕВ Д. А., ВІНАКОВ О. Ф., САВЬОЛОВА Е. В., ЯРМОЛОВИЧ В. Я. ВИКОРИСТАННЯ Т-ПОДІБНИХ ЗУБЦІВ У ЕЛЕКТРИЧНІЙ МАШИНІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З БЕЗОБМОТКОВИМ РОТОРОМ	110

КРИВЕНЧУК Ю. П., ХАНАС М.-Ю. Р. АЛГОРИТМ ВИДОБУВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ СПОРІДНЕНИХ ДАНИХ В СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ	115
КРИЛИК Л. В., ЄВСЄЄВА М. В. ЗАСТОСУВАННЯ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ В ПРОЦЕСІ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРА НА ЧУТЛИВІСТЬ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ	119
КУЛЕШОВА С. Г., КОШЕВКО Ю. В., НАЙЧУК Д. П., ЛЕБЕДИНСЬКА О. П. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕКОРУВАННЯ ВИРОБІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	125
ЛЕВКІН Д. А., ЖЕРНОВНИКОВА О. А. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ ГЕОМЕТРИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	133
СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ В.В. ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ АЛЬБАТРОС	137
МЕЛЬНИК А. М. АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ ІНТЕРВАЛЬНОГО ТА ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ	141
МАЙДАН П. С., МАКАРИШКІН Д. А., МИХАЙЛОВСЬКИЙ Ю. Б., ЗОЛОТЕНКО Е. О. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МАНІПУЛЯТОРА В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ TIA PORTAL V.15.1 (ПОВІДОМЛЕННЯ 1)	150
МАРТИНЮК Т. Б., КОЖЕМ'ЯКО А. В., КРУКІВСЬКИЙ Б.І., БУДА А. Г. АСОЦІАТИВНІ ОПЕРАЦІЇ НА БАЗІ РІЗНИЦЕВО-ЗРІЗОВОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ	159
МИЗЮК А. І. МАТЕМАТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ БУЛЬБИ З ЛОЖКОВИМ ТРАНСПОРТЕРОМ КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ	164
МИХАЙЛОВСЬКА О. А., ЛОБАНОВА Г. Є., СОЛТИК І. Т., НАДОПТА Т. А. РОЗРОБКА КОМФОРТНОГО ВЗУТТЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ІНВАЛІДНІСТЮ	168
ОСИПЕНКО В. В., ЗЛОТЕНКО Б. М., КУЛІК Т. І., БІЛА Т. Я., ДЕМІШОНКОВА С. А. ЗОВНІШНІЙ КРИТЕРІЙ СТАБІЛЬНОСТІ ВНУТРІШНЬОМНОЖИННИХ ВІДСТАНЕЙ В ЗАДАЧАХ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНІВ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ	176
ЛУЩЕВСЬКА О. М., БУХАНЦОВА Л. В., ДІТКОВСЬКА О. А., ЯНЦАЛОВСЬКИЙ О. Й. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ АДАПТИВНОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ГОЛОВНОГО УБОРУ – БАЛАКЛАВИ	180
ОСЯДЛИЙ В. В., МОСКАЛЕНКО А. О. МЕТОД ВИКОНАННЯ ТРАНЗАКЦІЙ НАД МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ	186
ПАТЛАНЬ Д. В., ПАЛАГІНА О. А., ІВЧЕНКО О. В., ПАЛАГІН В. В. МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИМЕТРИЧНОГО БЛОКОВОГО ШИФРУВАННЯ	191
ПЕРЕПЕЛИЦЯ В.І., КОЗЛОВ Л. Г. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗАГОТОВОК ЦЕГЛИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ МІНІМАЛЬНУ ПОХИБКУ ПЕРЕМІЩЕННЯ	198
БАБИЧ А. І., ЛИПСЬКИЙ Т. М., РАДІКОВА А. В. СУЧАСНІ МЕТОДИ І СТАРОВИННІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕСТАВРАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ВЗУТТЯ	204
РИБАК О. В. РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РЕКОМЕНДОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГУ	209
РОБІТНИЦЬКИЙ Р. К., ОНУФРІЙЧУК Ю. М., ПУШКАР В. М., СКЛАДАНЮК М. Б. СТЕХІОМЕТРИЧНІ ОБЧИСЛЕННЯ НА УРОКАХ ХІМІЇ	214
РЯБЧИКОВ М. Л., НАЗАРЧУК Л. В., СТИЦОК В. В., ТКАЧУК О. Л., КАГАН О. В. ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ МАГНІТНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВМІСТОМ НАНОСКЛАДОВИХ НА ОСНОВІ ДВО І ТРИВАЛЕНТНОГО ОКСИДІВ ЗАЛІЗА	220
ДУМИН І. Б., СЕМИЧ Т. В. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ОНЛАЙН-СЕРВІСУ ДЛЯ КОРОТКОСТРОКОВОЇ ОРЕНДИ ЖИТЛА ДЛЯ ТУРИСТІВ	227
СІНЧУК О. М., ГОРШКОВ В. В. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ	232
СКОПІВСЬКИЙ С. Я. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ІНФЕКЦІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ	237
СЛАВІНСЬКА А. Л., МИЦА В. В., АЛЬБЕРТОВИЧ В. В. МЕТОДИКА ВЕРИФІКАЦІЇ СТАНДАРТНИХ АНТРОПОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ОДЯГУ	241

СТАВИЦЬКИЙ П. В., ВОЙТКО В. В. МЕТОД ДЕКЛАРАТИВНОГО МЕТАПРОГРАМУВАННЯ НА ОСНОВІ ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНИХ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ	249
СУКМАНОВ В. О., КОВАЛЬЧУК О. В. ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СУБКРИТИЧНОЇ ВОДНОЇ ЕКСТРАКЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИЛУЧЕННЯ БІЛКУ ІЗ СОЄВОГО ШРОТУ	256
ЧИЖМОТЯ О. В., ВАКАЛЮК Т. А. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СИСТЕМІ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ У ВІТЧИЗНЯНІЙ ЛІТЕРАТУРІ	265
ЩЕРБАНЬ В. Ю., ЩЕНКО В. Д., КОЛИСКО О. З., КОЛИСКО М. І., ЩЕРБАНЬ Ю. Ю. ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОВИХ ФУНКЦІЙ РЕБЕР НЕОРІЄНТОВАНОГО ГРАФА ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ ДЕЙКСТРИ	270
ЯРЕМЕНКО О. О., БАЛДУК П. Г. РОЗРАХУНОК ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ	274
КУЛЕШОВА С. Г., КОЗАРЬ О. П., МАНДЗЮК І. А. КОЛЬОРО-ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК СКЛАДОВА БРЕНД-КОЛОРИСТИКИ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ	278
ОЛІЙНИК Г. С. АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕР'ЄРНИХ ДЕКОРАТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ SAN MARKO .	287
ОЛІЙНИК Г. С. ГЕОТЕКСТИЛЬ В СУЧАСНОМУ ІНТЕР'ЄРІ: ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ В КОНСТРУКЦІЇ ФІТОМОДУЛЯ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОЗЕЛЕНЕННЯ СТІНИ	292

CONTENT

YULIYA MALOHULKO, KATERINA POVSTIANKO, MAKSIM ZATKHEI RESEARCH OF THE WIND POWER PLANTS GENERATION WITH ENERGY STORAGE SYSTEMS	9
IRYNA FINYK FEATURES OF THE USE OF HEAT PUMPS IN THE HEATING SYSTEMS OF PRIVATE HOUSES	14
OLEXIY AZAROV, OLEXIY STAKHOV PUSH-PULL VOLTAGE BUFFER DEVICES ON BIPOLAR TRANSISTORS	18
OLEKSIY AZAROV, ANNA FIGAS THERMOSTABLE REFERENCE CURRENT AND VOLTAGE SOURCES FOR HIGH-LINEAR ANALOGUE-CODE-ANALOGUE SYSTEM.....	23
ARTEM ANTONENKO, TETIANA BROVENKO, MYROSLAV KRYVORUCHKO, NATALIYA STUKALSKA, GALINA TOLOK, OLEKSIY TONKYKH IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF SEMI-FINISHED PRODUCTS FOR PIZZA WITH HIGH CONTENT OF DIETARY FIBERS	29
TATYANA ASAULYUK, YULIA SARIBYEKOVA, OLGA SEMESHKO, IRINA KULISH SYNTHESIS AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF ZNO NANOPARTICLES	35
OLENA BAHRII ITERATIVE ALGORITHMS FOR SOLVING A PLANE PROBLEM FOR AN ENVIRONMENT WITH SIGNIFICANT MANIFESTATION OF INTERNAL FRICTION.....	42
OLENA BEZVESILNA, SVITLANA KOTLIAR, SERHII NECHAY, MIKOLA ILCENKO RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE MAIN COMPONENTS OF AUTOMATED INSTRUMENT SYSTEM STABILIZATION.....	46
OLEKSANDR BILYK, SERHII KONONOV A NEW APPROACH TO CREATING A HIGHLY STABLE RANGE MICROWAVE GENERATOR.....	51
MYKHAILO BURBELO, DENYS LEBED, OLEKSANDR LESHCHENKO OPTIMIZATION OF CHARGE / DISCHARGE TIME OF ACTIVE FILTER CAPACITORS DURING VOLTAGE FLUCTUATIONS	58
OLENA VERECHUK, NATALI KAMENEVA CREATION OF SENSORY PROFILES OF RIESLING WINES FROM EUROPE, AMERICA AND OCEANIA AND THEIR COMPARATIVE CHARACTERISTICS	64
VALERII HRANIAK, OLEH HRYSHCHUK DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF BUILDING DIAGNOSTIC SYSTEMS OF ROTATING ELECTRICAL MACHINES UNDER THE CONDITIONS OF LIMITED INFORMATIONALITY OF DIAGNOSTIC SIGNS.....	70
NINA DAVYDENKO META-MODEL OF DESIGN OF INFORMATION TECHNOLOGY PROTOTYPE OF CLASSIFICATION OF OBJECTS BY IMAGE SHAPE USING GMDH NEURAL NETWORKS IN THE NOTATION OF A UNIFIED MODELING LANGUAGE.....	78
ANATOLII DANYLKOYCH, VIKTOR LISHCHUK ECOLOGICAL FEATURES OF SOAKING AND ASH PROCESSES IN THE PRODUCTION OF LEATHER	82
OLESYA DITKOVSKA, OLENA LUSHCHEVSKA, LIUDMYLA BUKHANTSOVA CAPE: HISTORICAL PAST AND FASHIONABLE PRESENT	87
MARK ZALYUBOVSKIY TECHNICAL AND ECONOMIC RATIONALE FOR THE USE OF TURBULA TYPE MACHINING MACHINES IN POLISHING THE SURFACE OF SMALL POLYMER POLYMERS	94
INNA KYRYTSYA FEATURES OF THE CALCULATION OF THE USED PLASTICITY RESOURCE DURING COLD FORMING OF GLASS-TYPE PRODUCTS	100
TETIANA KOLESNYK, OLGA ANDREYEVA, DMYTRO DAVYDIUK RESEARCH OF THE LIMING-UNHAIRING OF LEATHER PARCHMENT WITH THE PRESENCE OF THE NATURAL MINERAL ZEOLITE	105
VOLODYMYR KOSENKOV, DMYTRO IVLIEV, OLEKSANDR VYNAKOV, ELVIRA SAVOLOVA, VIKTORIA YARMOLOVYCH USE OF T-SHAPED TOOTH IN A DIRECT CURRENT MACHINE WITH A WINDLESS ROTOR	110
YURII KRYVENCHUK, MYKHAILO-YURII KHANAS ALGORITHM OF DATA MINING AND PROCESSING OF RELATED DATA IN SOCIAL NETWORKS	115

LYUDMILA KRYLIK, MARIYA EVSEEVA APPLICATION OF REGRESSION ANALYSIS DURING THE ASSESSMENT PROCESS OF FACTOR IMPACT ON THE SENSITIVITY OF THE CAPACITIVE HUMIDITY SENSOR	119
SVITLANA KULESHOVA, JULIA KOSHEVKO, DIANA NAJCHUK, OKSANA LEBEDYNSKA INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR DECORATING LIGHT INDUSTRY PRODUCTS	125
DMYTRO LEVKIN, OKSANA ZHERNOVNYKOVA MATHEMATICAL MODELS' DEVELOPMENT OF APPLIED TASKS OF GEOMETRIC DESIGN OF TECHNICAL SYSTEMS	133
VICTOR STRELBITSKIY EVALUATION OF THE RELIABILITY OF ALBATROSS GANTRY CRANE MECHANISMS	137
ANDRIY MELNYK SOFTWARE ARCHITECTURE FOR MATHEMATICAL MODELING BASED ON INTERVAL AND ONTOLOGICAL APPROACH	141
PAVLO MAIDAN, DENYS MAKARYSHKIN, YURIY MYKHAYLOVSKIY, ELLA ZOLOTENKO SIMULATION THE WORKING OF THE MANIPULATOR IN THE SOFTWARE ENVIRONMENT TIA PORTAL V.15.1 (NOTIFICATION 1)	150
TATIANA MARTYNIUK, ANDRII KOZHEMIAKO, BOHDAN KRUKIVSKIY, ANTONINA BUDA ASSOCIATIVE OPERATIONS BASED ON DIFFERENCE-SLICE DATA PROCESSING	159
ANDRII MYZYUK MATHEMATICAL SUBSTANTIATION OF THE INTERACTION OF THE TUBE WITH THE BOTTLE CONVEYOR OF THE POTATO PLANTER	164
OKSANA MYKHAILOVSKA, HALYNA LOBANOVA, INNA SOLTYK, TETYANA NADOPTA DEVELOPMENT OF COMFORTABLE SHOES FOR PEOPLE WITH DISABILITIES	168
VOLODYMYR OSPENKO, BORYS ZLOTENKO, TETYANA KULIK, TATYANA BILA., SVITLANA DEMISHONKOVA EXTERNAL CRITERION OF STABILITY OF INTRA-MULTIPLE DISTANCES IN TASKS OF DIAGNOSIS OF STATES OF TECHNICAL OBJECTS	176
OLENA LUSHCHEVSKA, LIUDMYLA BUKHANTSOVA, OLESYA DITKOVSKA, OLEKSANDR YANTSALOVSKIY FEATURES OF DESIGN OF ADAPTIVE MULTIFUNCTIONAL HEADWEAR – BALAKLAVA	180
VITALIY OSYADLYI, ARTEM MOSKALENKO METHOD OF PERFORMING THE TRANSACTIONS ON MEDICAL DATA BASED ON BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES	186
DANA PATLAN, ELENA PALAHINA, OLEKSANDR IVCHENKO, VOLODYMYR PALAHIN THE METHOD OF INCREASING THE EFFICIENCY OF SYMMETRICAL BLOCK ENCRYPTION	191
VYACHESLAV PEREPELTSYA, LEONID KOZLOV DETERMINATION OF INSTALLATION PARAMETERS FOR FORMATION OF BRICK PREPARATIONS THAT PROVIDE MINIMUM ERROR OF MOVING	198
ANTONINA BABYCH A., TYMOFII LYPISKY, ANNA RADIKOVA MODERN METHODS AND ANCIENT TECHNOLOGIES OF RESTORATION AND RESTORATION OF SHOES	204
OLGA RYBAK DEVELOPMENT OF SUBSYSTEM FOR DEFINING RECOMMENDED GRINDING WHEEL PARAMETERS	209
ROSTISLAV ROBITNYTSKYI, YURIY ONUFRYCHUK, VALENTINA PUSHKAR, MARIIA SKLADANIUK STOICHIOMETRIC CALCULATIONS IN CHEMISTRY CLASSES	214
MYKOLA RIABCHYKOV, LIUDMYLA NAZARCHUK, VIKTORIIA STYTSIUK, OKSANA TKACHUK, OKSANA KAHAN DIFFERENTIAL METHOD OF QUALITY CONTROL OF PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF KNITTED FABRIC FOR BATHING SUIT	220
IRYNA DUMYN, TAMARA SEMYCH FEATURES OF DESIGNING ONLINE SERVICE FOR SHORT-TERM RENTAL OF HOUSING FOR TOURISTS	227
OLEG SINCHUK, VICTOR GORSHKOV CONTROL SYSTEM OF THE ELECTRICAL COMPLEX OF STREET LIGHTING	232
STEPAN SKOPIVSKY ANALYSIS OF INFECTIOUS DISEASES FORECASTING METHODS	237
ALLA SLAVINSKA, VIKTORIIA MYTSA, VIKTORIIA ALBERTOVUCH METHOD OF VERIFICATION OF STANDARD ANTHROPOMETRICAL SURVEYS FOR CLOTHING	241

PAVLO STAVYTSKYI, VIKTORIIA VOITKO METHOD OF THE DECLARATIVE METAPROGRAMMING BASED ON DOMAIN-SPECIFIC PROGRAMMING LANGUAGES	249
VALERIY SUKMANOV, OLENA KOVALCHUK INFLUENCE OF SUBCRITICAL WATER EXTRACTION PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF PROTEIN RECOVERY FROM SOYBEAN MEAL	256
OLEKSIY CHYZHMOTRIA, TETIANA VAKALIUK ANALYSIS OF THE STATE OF THE PROBLEM OF DECISION-MAKING IN THE SYSTEM OF TRANSPORT LOGISTICS IN THE DOMESTIC LITERATURE	265
VOLODYMYR SHCHERBAN, VALENTIN ISHCENKO, OKSANA KOLISKO, MARJANA GOLDBERG, YURYJ SHCHERBAN DETERMINATION OF THE WEIGHT FUNCTIONS OF THE EDGES OF AN UNDIRECTED GRAPH IN THE COMPUTER SEARCH OF THE OPTIMAL PATH USING DAKYSTRE'S ALGORITHM	270
YAREMENKO OLENA, BALDUK PAVLO CALCULATION OF OFFCENTRALLY COMPRESSED ELEMENTS	274
SVITLANA KULESHOVA, OKSANA KOZAR, IGOR MANDZYK COLOR-INFORMATION TECHNOLOGIES AS A COMPONENT OF BRAND-COLORISTIC OF SEWING PRODUCTS	278
OLIJNYK HALINA ANALYSIS OF THE PROSPECTIVE USE OF SAN MARKO INTERIOR DECORATIVE MATERIALS	287
OLIJNYK HALINA GEOTEXTILE IN THE MODERN INTERIOR: FEATURES OF USE IN THE DESIGN OF A PHYTOMODULE FOR GREEN WALL	292

МАЛОГУЛКО Ю. В.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6637-7391>juliya_malogulko@ukr.net

ПОВСТЯНКО К. О.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-5501-662X>Ekaterina.povstyanko@gmail.com

ЗАТХЕЙ М. В.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5480-5187>maxzatkhey@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРУВАННЯ ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАНОВОК З СИСТЕМАМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

В роботі досліджено проблематику інтегрування таких елементів електроенергетичної системи як: промислові накопичувачі енергії та безпосередньо вітроелектроустановки. Різке зростання частки такого виду електроенергії формує ряд питань, що потребують вирішення, в першу чергу – стохастичний характер їх роботи. Вирішення цієї проблеми є актуальним не лише з точки зору усунення явища нерівномірності генерування енергії за допомогою вітроелектроустановки, оскільки вітер є мінливим джерелом енергії, а й підвищення показників взаємодії потоку вітру з лопатями генератора, тобто збільшення проникності вітру.

Ключові слова: вітроелектроустановки, системи накопичення енергії, акумуляторні батареї.

Yuliya MALOHULKO, Katerina POVSTIANKO, Maksim ZATKHEI

Vinnitsia National Technical University

RESEARCH OF THE WIND POWER PLANTS GENERATION WITH ENERGY STORAGE SYSTEMS

In this work, the problem of integration of such elements of the electric power network as: industrial energy storage and directly wind generators is investigated. The sharp increase in the share of this type of electricity creates a number of issues that need to be resolved, first of all, the stochastic nature of the work. Solving this problem is relevant not only from the point of view of eliminating the phenomenon of uneven energy generation using a wind turbine, since wind is a variable source of energy, but also increasing the indicators of the interaction of the wind flow with the generator blades, i.e. increasing the permeability of the wind. This problem was noticed during the study of the operation of modern wind systems, especially the period of operation during direct start-up and in the presence of low wind speed, and therefore the efficiency is minimal. In this case, the use of energy storage systems is the best option for integration, as it allows not only to store energy, but also to increase the level of reliability of electricity supply.

The work includes an overview of several variations of the location of wind power plants and energy storage systems: local, distributed, centralized. The use of one or another option depends on the size and load of the direct network. In addition, two models of energy storage were investigated in the work: storage in the rear part of the installation and storage in the front part of the installation. The study showed that using the option when the storage systems are located in the front part of the installation increases the weight of the nacelle, which is a negative factor, but installing it in the rear part or next to it increases the level of losses, which is an equally significant factor. In general, the installation of storage systems will complicate the immediate work, and also increase the cost, but in view of the future perspective, the solution to these issues is fully justified. Having solved the technological questions that gradually arise, the process of generating energy based on wind turbines and its synchronized storage will satisfy other important questions.

Keywords: wind power plants, energy storage systems, batteries.

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

Збільшення кількості електроенергії, що виробляється відновлюваними джерелами, зокрема вітроенергетичними установками, ставить нові виклики для електричних мереж, які працюють у умовах підвищених навантажень. Адже такого типу установки мають стохастичний характер генерування через мінливість вітрового потоку, погодні умови, пору року і т.д. Сучасні системи електропостачання повинні вміти балансувати попит та пропозицію в будь-який момент, мати більш гнучке керування та забезпечувати оптимізовану ефективність використання енергії [1].

Системи накопичення електричної енергії є одним із найбільш швидко зростаючих секторів електроенергетики, у період з 2010 по 2020 роки сектор зріс майже у 50 разів, середньорічні темпи зростання становили 47%. На рис. 1 представлена динаміка зростання зазначений період.

Причиною підвищення загальносвітового інтересу до систем накопичення електричної енергії стало зростання частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в сучасній енергетиці. При використанні ВДЕ, зокрема вітроелектроустановок та сонячних електричних станцій, досить важко здійснювати контроль за величинами генеруючих потужностей для конкретного проміжку часу. Ми не можемо підлаштувати швидкість вітру або інтенсивність сонячного випромінювання, виходячи з потреб споживача. Такі типи ВДЕ можуть працювати більш оптимально при використанні разом із системами накопичення електричної енергії. Необхідно враховувати, що місце установки в даному випадку буде безпосередньо біля генерування на основі ВДЕ [2].

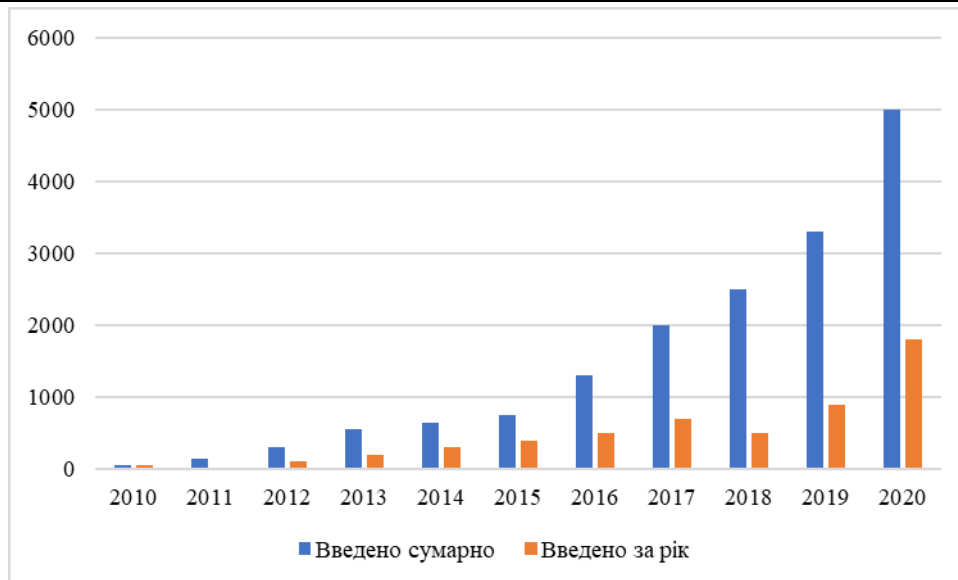


Рис. 1. Динаміка введення систем накопичення електричної енергії в світі за 10 років

Найважливішим компонентом енергопереходу, що забезпечує глибшу електрифікацію та поширення ВДЕ є розвиток технологій накопичення енергії та здешевлення її зберігання. Іншими словами, як основну проблему пропонується розглянути ефективну інтеграцію генерації на основі ВДЕ, а саме – на основі вітроелектроустановок а також підвищення ефективності та їх частки в енергетичному балансі енергосистеми за допомогою застосування систем накопичення електроенергії.

Зберігання є ланкою-посередником між різними джерелами та способами використання енергії.

Зі збільшенням встановленої потужності відновлюваних джерел електроенергії, у енергосистемі відбуваються суттєві перепади рівня генерації електроенергії через періодичність і випадковість їх роботи, тому накопичення енергії використовується в першу чергу для пом'якшення та згладжування таких перепадів, а також такі системи накопичення дають можливість реалізації зсуву в часі видачі енергії в мережу, за рахунок чого збільшується надійність і гнучкість роботи енергосистеми.

Аналіз досліджень та публікацій

Питання інтенсивного розвитку такого напрямку як «генерація-мережа-навантаження-накопичення» є необхідним на тлі таких масштабних понять як побудова Smart Grid [3-5]. В [6] зазначено, що на сьогоднішній день вивчення накопичення енергії включає два аспекти:

- технологію накопичення енергії;
- ємність для накопичення.

Існують накопичувачі енергії на стисненому повітрі, накопичувачі з насосом, накопичувачі на маховику, різні типи накопичувачів енергії в батареях, накопичувачі водневої енергії, надпровідні магнітні накопичувачі та інші типи зберігання енергії [7].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження питань згладжування різких коливань генерування електроенергії вітроелектроустановками та інтегрування їх роботи з системами накопичення електричної енергії.

Виклад основного матеріалу

На сьогоднішній день системи накопичення електричної енергії є недостатньо стандартизованими та уніфікованими. Розглянемо наступні типи систем накопичення електричної енергії (рис. 2):

- локальна система накопичення електричної енергії;
- розподілена система накопичення електричної енергії;
- централізована система накопичення електричної енергії.

Локальне накопичення енергії відбувається одразу після її генерування, а генератор і накопичувач енергії по-суті є комбінацією «один до одного». Такий метод доцільно використовувати у випадку мікромережі або ж великомасштабної системи. Розподілене накопичення енергії в основному призначене для розподіленої генерації, а генератор і накопичувач енергії утворюють комбінації «декілька до одного» або ж «один до одного». Централізоване накопичення енергії в основному призначене для накопичення енергії великої ємності, що формуються з великої кількості систем вітроелектроустановок або вітрових електростанцій, а взаємозв'язок між генератором і накопичувачем енергії є комбінацією «декілька до одного».

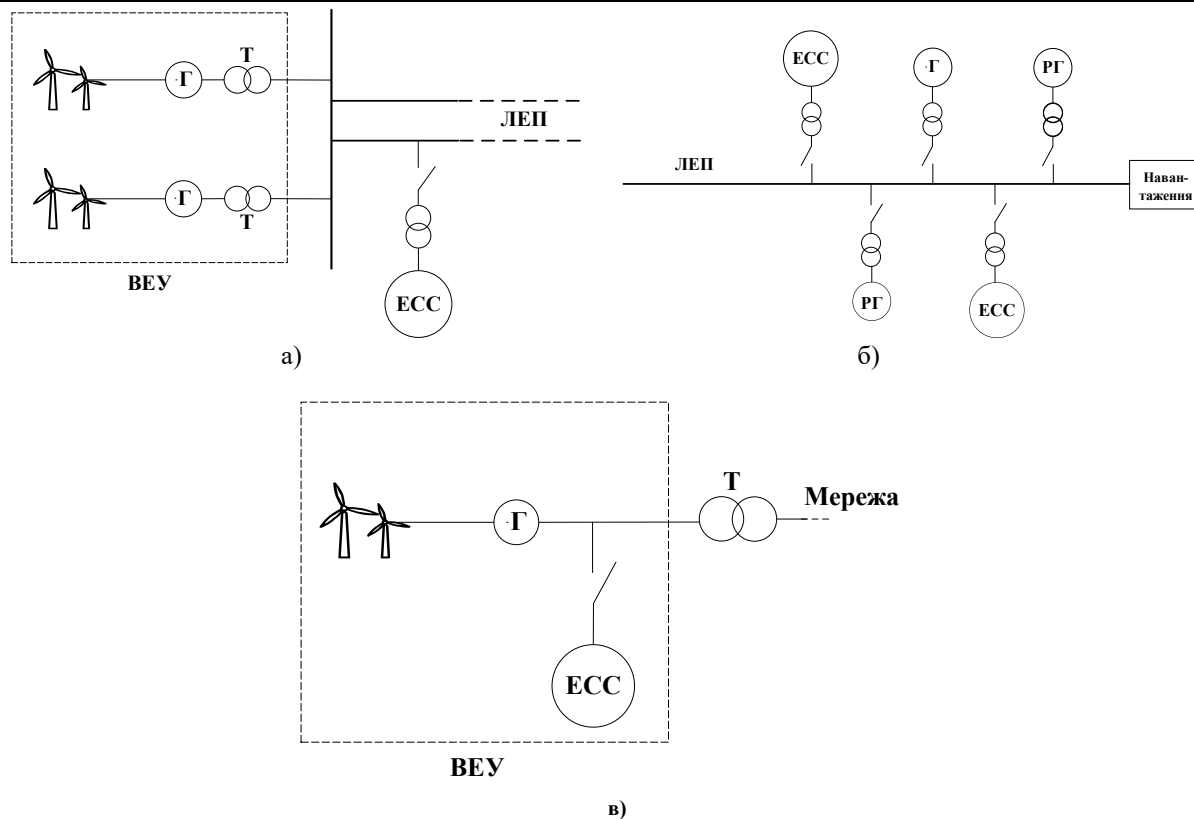


Рис. 2. Системи накопичення електричної енергії: а – локальна, б – розподілена, в – централізована: ЕСС – електроенергетична система, Г – генератор, Т – трансформатор, ВЕУ – вітроелектроустановка, ЛЕП – лінія електропередавання, РГ – розподілене генерування

Розглядаючи накопичення енергії, як складову Smart Grid, можна стверджувати, що даний захід буде активно використовуватися задля компенсації реактивної потужності енергосистеми. Проте, при цьому будуть присутні певні недоліки з точки зору економічної доцільності використання електричної мережі, але можливість стабілізувати вихідну потужність, підтримати стабільність системи та можливість збільшення кількості ВДЕ у вигляді ВЕС, демонструє суттєві позитивні аспекти. Енергетична система повинна працювати в балансі між вихідною потужністю та навантаженням, тоді як генерація відновлюваної енергії часто не має можливості регулюватись у реальному часі, але ми можемо тимчасово досягти зміщення піку даного небалансу, в першу чергу, за рахунок можливості реалізації двонаправленого потоку енергії накопичувача.

Сучасні основні моделі вітроелектроустановок потужністю до 5 МВт складаються з індукційного генератора із подвійним живленням, синхронного генератора із постійним магнітом з прямим приводом і синхронного генератора з постійним магнітом із напівпрямим приводом. Основна перевага індукційного генератора з подвійним живленням полягає в його невеликих розмірах і легкій вазі, а основним недоліком є висока частота відмов редуктора. Перевагою синхронного генератора з постійним магнітом із прямим приводом є зменшення втрат при передаванні, а також уникнення втрат в обмотках збудження, недоліком є складність очищення постійного магніту, великий об'єм двигуна та висока вартість. Синхронний генератор із напівпрямим приводом на постійних магнітах зменшує розміри двигуна та використовує редуктор з низьким передаточним числом. Це свідчить про те, що для систем вітроелектричних установок потужністю до 5 МВт більш важливими показниками є надійність роботи, вартість і вага разом з об'ємом обладнання всієї установки.

З розвитком та становленням технології накопичення енергії система накопичення електричної енергії невдовзі стане важливою невід'ємною частиною енергосистеми. Персоналу, що займається плануванням розвитку електромережі, необхідно визначити, чи розташована така система поблизу джерела живлення або біля навантаження, і в якій комбінації вони знаходяться. В наведеній роботі досліджено випадок, коли вітроелектроустановка та система накопичення енергії розташовані поблизу навантаження та формують локальну електричну мережу. Така модель потребує додатково встановлювати систему керування накопиченою енергією для гнучкого електропостачання. Інтеграція систем накопичення енергії та роботи вітроелектроустановок додає необхідну складову обладнання, яка знаходиться попереду або позаду генератора.

При розміщенні системи накопичення електричної енергії попереду генератора вага гондоли вітроелектроустановки суттєво збільшиться. Якщо ж систему накопичення енергії встановити або позаду генератора, або всередині башти, або на землі біля коробчастого трансформатора, то при цьому вага гондоли вітроелектроустановки не збільшується. Проте така інтегрована модель збільшить втрати енергії через

додавання системи зберігання та вивільнення енергії. Система зберігання енергії – це, перш за все, система керування, яка збільшує складність роботи системи вітроелектроустановки. Одночасно буде збільшено вартість виробництва системи вітроелектроустановки. Будь-яка нова технологія, яку потенційно можна використати, супроводжуватиметься деякими труднощами, але з удосконаленням технології та процесів недоліки поступово будучи зменшуватися та зникати зовсім. У той самий час, недоліки, які потрібно буде потрібно вирішити під час впровадження нової технології не стануть такими суттєвими на противагу до переваг, які вони принесуть.

Розглянемо модель подвійної інтеграції систем накопичення енергії з вітроелектроустановками, коли електрична енергія накопичується попереду та позаду генератора. Взаємозв'язок між входом та виходом енергії та системою накопичення енергії може бути паралельним або послідовним (рис. 3).

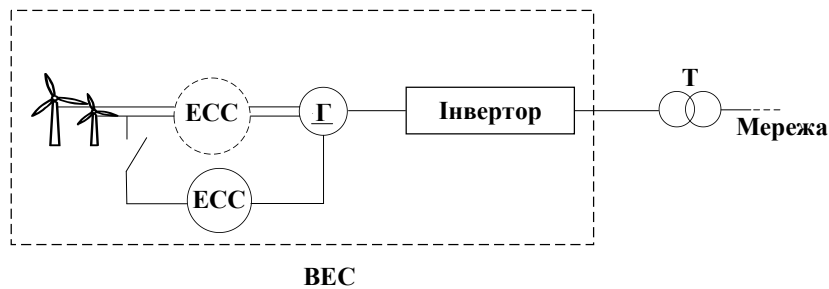


Рис. 3. Структурна схема системи накопичення енергії попереду генератора

Як показано на рис. 3, система накопичення енергії з послідовною структурою фронтального режиму показана пунктирною лінією. Механічна енергія надходить у систему накопичення енергії, а система накопичення енергії вивільняє механічну енергію в генератор у послідовному з'єднанні. Зберігання та генерування електроенергії можуть здійснюватися одночасно, а також енергія може зберігатися одночасно з генерацією або без неї. Структура системи накопичення енергії вітроелектроустановки позаду генератора з паралельним або послідовним з'єднанням показана на рис. 4.

Як показано на рис. 4, система накопичення енергії з послідовною структурою режиму заднього ходу також показана пунктирною лінією. Вироблена енергія може зберігатися локально, а вихідна потужність може регулюватися відповідно до попиту за допомогою цього послідовного з'єднання. Накопичувач може подавати електроенергію та зберігати її одночасно, тобто використовуватись лише як джерело живлення або лише як накопичувач енергії.

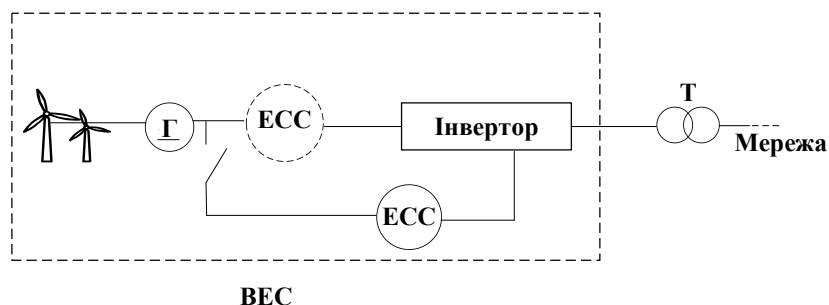


Рис. 4. Структурна схема системи накопичення енергії позаду генератора

Структура системи виглядає менш гнучкою, але вона може зробити вихідну потужність більш стабільною завдяки контролю системи накопичення енергії. Таким чином, за допомогою використання даної технології можна перетворити нестабільну вхідну потужність в стабільний вихід для покращення якості електричної енергії вітроелектроустановки. Однак система паралельного накопичення енергії має кращу гнучкість, проте більш складним буде процес керування.

Структурна схема, показана на рис. 5, суміжна зі структурою вітроенергетичної системи з прямим приводом. Пружинний механізм накопичення/вивільнення енергії розміщений у задній частині крильчатки вітрової турбіни та передній частині генератора в цій конструкції фронтального режиму.

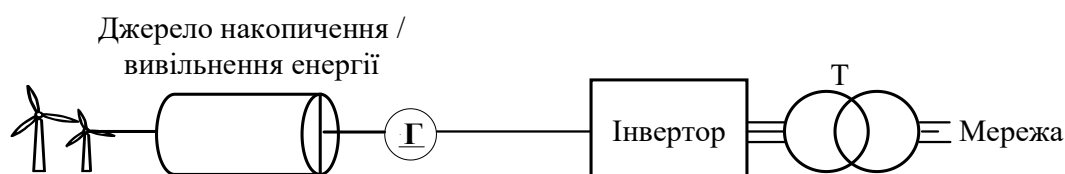


Рис. 5. Структурна схема системи накопичення енергії позаду генератора

Система накопичення енергії та точка подачі енергії розташовані послідовно, механічна енергія перетворюється на потенційну енергію, потім потенційна енергія перетворюється на стабільну механічну енергію на виході. Таким чином, дана структура може не лише досягти мети накопичення енергії, а й покращити якість енергії завдяки генератора з постійною швидкістю обертання на вході. Крім того, цей тип вітроенергетичної установки може здійснювати запуск та роботу за низької швидкості вітру. Резервуар для зберігання енергії може бути розміщений вертикально в центрі вежі, а енергія резервуара може зберігатися за рахунок стисненого повітря та водню. Цей резервуар для зберігання енергії можна розташувати таким чином, щоб повністю використати внутрішній простір вежі, і не займати сільськогосподарські угіддя. Загальна вага системи вітрової установки буде збільшена за рахунок такої конструкції, але вага її мотогондולי не буде більшою, ніж у передньому варіанті. Оскільки висота башти вітряної турбіни потужністю 1,5 МВт зазвичай досягає 70 метрів, такий резервуар для зберігання енергії може бути розташований у просторішому місці, а його ємність для зберігання енергії має бути набагато більшою. Система накопичення енергії та вхід електричної енергії вітрогенераторної системи із зворотною інтеграцією режиму може мати паралельну чи послідовну структуру.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В роботі досліджено питання згладжування різких коливань генерування електроенергії вітроелектроустановками та інтегрування їх роботи з системами накопичення електричної енергії. Розглянуто та проаналізовано схеми зберігання енергії на прикладі двох моделей вітроелектроустановок, одна з яких є модель зберігання енергії в передній частині генераторної вітрогенераторної системи, а інша - модель зберігання енергії в задній частині установки, а також доцільність застосування систем накопичення енергії.

Література

1. U.O. Dan, PIAO Zailin, WANG Lidi, WANG Jun, LV Qiangqiang, CAO Dexi / The research on the integration of energy storage and generating wind turbine system model // China International conference on electricity distribution (CICED 2016), p. 1-4.
2. WANG Chengmin, SUN Weiqing, YI Tao, et al. Review on Energy Storage Application Planning and Benefit Evaluation Methods in Smart Grid. Proceedings of the CSEE, 2013, 33 (7) p. 33-41.
3. HAN Xiaojuan, CHEN Yueyan, ZHANG Hao, et al. Application of Hybrid Energy Storage Technology Based on Wavelet Packet Decomposition in Smoothing the Fluctuations of Wind Power[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33 (19): 8-13.
4. ZENG Ming, YANG Yongqi, LIU Dunnan, et al. "Generation-Grid-Load-Storage" Coordinative Optimal Operation Mode of Energy Internet and Key Technologies. Power System Technology, 2016, 40 (1) : 114-124 (in Chinese) .
5. Energy Storage for the Grid and Ancillary Services – Navigant Research, 2Q 2016.
6. Nor Shahida Hasan, Mohammad Yusri Hassan, Hayati Abdullah, et al. Improving power grid performance using parallel connected Compressed Air Energy Storage and wind turbine system. Renewable Energy, 2016, 96, p. 498-508.
7. The power energy modern storage systems technology research. Malogulko Yu., Lastivka V. Znanstvena misel journal №65/2022.

References

1. U.O. Dan, PIAO Zailin, WANG Lidi, WANG Jun, LV Qiangqiang, CAO Dexi / The research on the integration of energy storage and generating wind turbine system model // China International conference on electricity distribution (CICED 2016), p. 1-4.
2. WANG Chengmin, SUN Weiqing, YI Tao, et al. Review on Energy Storage Application Planning and Benefit Evaluation Methods in Smart Grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33 (7) p. 33-41.
3. HAN Xiaojuan, CHEN Yueyan, ZHANG Hao, et al. Application of Hybrid Energy Storage Technology Based on Wavelet Packet Decomposition in Smoothing the Fluctuations of Wind Power[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33 (19): 8-13.
4. ZENG Ming, YANG Yongqi, LIU Dunnan, et al. "Generation-Grid-Load-Storage" Coordinative Optimal Operation Mode of Energy Internet and Key Technologies. Power System Technology, 2016, 40 (1) : 114-124 (in Chinese) .
5. Energy Storage for the Grid and Ancillary Services – Navigant Research, 2Q 2016.
6. Nor Shahida Hasan, Mohammad Yusri Hassan, Hayati Abdullah, et al. Improving power grid performance using parallel connected Compressed Air Energy Storage and wind turbine system. Renewable Energy, 2016, 96, p. 498-508.
7. The power energy modern storage systems technology research. Malogulko Yu., Lastivka V. Znanstvena misel journal №65/2022.

Рецензія/Peer review : 27.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

ФІНИК І. В.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3254-9236>e-mail: Finyk_Ira@i.ua

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНИХ БУДИНКІВ

В роботі досліджено що економічність є основною перевагою теплових насосів. Фінансові затрати в період опалювального сезону порівняно з природним газом менші практично втричі. Для підключення не потрібно отримання жодних дозволів. Робота теплонасосних установок абсолютно безпечна та екологічна. З давніх часів теплонасосні установки застосовували як альтернативні системи опалення. Такі системи є надійними, мають тривалий термін роботи і є найбільш екологічними. Теплонасосні установки розглядаються, як новий ступінь на шляху до розвитку ефективніших і безпечніших систем. Головне опалення будинку за допомогою теплонасосної установки має вагомий переваги перед експлуатацією газових котлів. Енергозберігаючі технології для приватних побудов, повільно, але впевнено витісняють традиційні види опалення. Єдине, що утримує повсюдне впровадження установок, це необхідність у значному початковому вкладенні грошей. Більшість виробників вже давно працюють над удешевленням технології, тому перспективи використання теплових насосів у системах теплопостачання приватних будинків досить оптимістичні. Незабаром очікується збільшення кількості продажів на 10-15%. Встановлено, що на відміну від котла, конвектора та іншого типу нагрівача теплонасосна установка не виготовляє тепло. Вона переносить тепло з одного середовища до іншого. Наприклад, теплонасосна установка повітря-вода налаштована на охолодження повітря поза межами будівель і нагріванням води в бойлері. Завдяки цьому можна досягти ефективності понад 100%. Тепловий насос споживає електроенергію та генерує тепло. Співвідношення цих показників характеризує його продуктивність. Але реальний ККД теплового насоса може значно коливатися. Чим менша температура на вході та вище на виході, тим нижча ефективність. За експертною оцінкою можливо прогнозувати, що більше ніж 70% теплової енергії для систем опалення та гарячого водопостачання в розвинених країнах станом на 2023 рік буде вироблятися теплонасосними установками, які використовують різні види низькопотенційних джерел теплоти.

Ключові слова: тепловий насос, енергоресурс, теплонасосна установка, джерело теплоти, конденсатор, компресор.

Iryna FINYK

Vinnytsia National Technical University

FEATURES OF THE USE OF HEAT PUMPS IN THE HEATING SYSTEMS OF PRIVATE HOUSES

In the paper, it is investigated that economics is the main advantage of thermal pumps. The financial costs during the heating season are almost three times lower than natural gas. You do not need any permissions to connect. The operation of heat pump units is absolutely safe and environmentally friendly. Since ancient times, heat pump units have been used as alternative heating systems. Such systems are reliable, have a long term of operation and are the most environmentally friendly. Heat pump units are seen as a new step toward the development of more efficient and safer systems. The main heating of the house with the help of a heat pump unit has significant advantages over the operation of gas boilers. Energy-saving technologies for private building, slowly but confidently remove traditional types of heating. The only thing that keeps the widespread introduction of installations is the need for a significant initial investment of money. Most producers have long been working on cheaper technology, so the prospects of using heat pumps in the heat supply systems of private houses are rather optimistic. The number of sales is expected to increase by 10-15% soon. It has been established that in contrast to the boiler, the convector and other type of heater the heat pump unit does not produce heat. It transfers heat from one environment to another. For example, the heat pump installation of air-water is set for cooling of air outside of buildings and heating of water in boiler. This results in over 100% efficiency. The heat pump consumes electricity and generates heat. The ratio of these indicators characterizes its productivity. But the real efficiency of the heat pump can vary considerably. The lower the inlet temperature and the higher the outlet temperature, the lower the efficiency. According to expert estimates, it is possible to predict that more than 70% of thermal energy for heating systems and hot water supply in developed countries as of 2023 will be produced by heat pump units that use different types of low-potential heating sources.

Keywords: heat pump, energy resources, heat pump unit, heat source, condenser, compressor.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Автором роботи встановлено, що на відміну від котла, конвектора та іншого типу нагрівача теплонасосна установка не виготовляє тепло. Вона переносить тепло з одного середовища до іншого. Наприклад, тепловий насос повітря-вода налаштований на охолодження повітря поза будівлею і нагріває воду в бойлері. Завдяки цьому можна досягти ефективності понад 100%.

Тепловий насос споживає електроенергію та генерує тепло. Співвідношення цих показників характеризує його продуктивність. Але реальний ККД теплового насоса може значно коливатися. Чим менша температура на вході та вище на виході, тим нижча ефективність.

Аналіз досліджень та публікацій

В роботі наведено дані [8] про різноманітність лінійки потужності теплових насосів, що робить

можливим забезпечення теплопостачання приватного будинку. Досліджено, що в даний час ЖКГ неефективно витрачає енергоресурси [1]. Встановлено загальну потужність теплових насосів, при щорічному виробленні тепла [2]. За експертною оцінкою можливо спрогнозувати, що більше ніж 70% теплової енергії для систем опалення та гарячого водопостачання в розвинених країнах станом на 2023 рік буде вироблятися теплонасосними установками, які використовують різні види низькопотенційних джерел [6] теплоти.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження особливостей використання теплових насосів в системах теплопостачання приватних будинків.

Виклад основного матеріалу

Основним споживачем енергетичних ресурсів є житлово-комунальне господарство (ЖКГ). В даний час ЖКГ неефективно витрачає енергоресурси [1]:

- втрати теплоти у теплових мережах перевищують нормативні;
- термін служби теплотрас у 4–6 разів нижчий за нормативний;
- ККД деяких котелень - 40%;
- модернізації потребують 30% систем водопостачання, 17% каналізаційних мереж;
- витікання та невраховані витрати води становлять 15 %.

Дана інформація чітко відображає проблему енергозбереження та підвищення енергоефективності будівель та споруд. Особливо вона є актуальною для приватних будинків.

Одночасно з проблемами енергозбереження відбувається:

- виснаження природних ресурсів;
- економічна нестабільність цін на нафту;
- глобальна зміна клімату.

Тому чи варто дивуватися тому, що відновлювані джерела енергії сьогодні перебувають у центрі загальної уваги, оскільки є альтернативою традиційним. До них слід зарахувати і теплонасосне обладнання, виробництво якого зростає швидкими темпами в Європі. За прогнозами до 2023 року у всіх розвинених країнах світу теплопостачання здійснюватиметься за допомогою теплових насосів.

У світовій практиці найперспективнішими технологіями в системах теплопостачання вважаються технологічні рішення з використання теплонасосних установок (ТНУ).

Тепловий насос – пристрій для перенесення теплової енергії від джерела з нижчою температурою до джерела з більш високою температурою, що дозволяє за допомогою витрат електричної енергії використовувати низькотемпературну теплову енергію ґрунту, повітря, води, господарсько-побутових стоків, шахтних вод, промислових скидів для отримання теплоносія придатного для тепло- та холодопостачання приміщень, будівель, споруд.

При цьому витрачаючи 1 кВт×год електроенергії на роботу насоса можна отримати близько 2,5-3,5 кВт ×год теплової енергії.

Загальна встановлена потужність теплових насосів на сьогодні складає 15723 МВт при щорічному виробленні теплоти $86,673 \times 10^{15}$ Дж [2]. Встановлена потужність геотермальних теплонасосних систем [3] становить близько 6700 МВт під час виробництва енергії обсягом $23,3 \times 10^{15}$ Дж/год.

Такий великий обсяг використання ТНУ у розвинених країнах пояснюється значними перевагами теплонасосних установок перед іншими системами теплопостачання:

- мають високий ступінь автоматизації;
- відрізняються високою надійністю, налагодженою системою виробництва та технічного обслуговування;
- приносять високу ефективність (на кожен кіловат електричної енергії, витрачений на привід компресора, можна отримати від 3 до 8 кВт теплової енергії залежно від температури низькопотенційного джерела) [4];
- характеризується високим рівнем заводської готовності обладнання, простотою монтажу, підключення та технічного обслуговування [5].

За експертною оцінкою, більше ніж 70% теплової енергії для систем опалення та гарячого водопостачання в розвинених країнах станом на 2023 рік буде вироблятися теплонасосними установками, які використовують різні види низькопотенційних джерел [6] теплоти:

- теплота охолоджувальної води енергетичних установок;
- теплота, що виходить після технологічних процесів;
- теплота стічних вод;
- теплота води систем питного водопостачання;
- теплота вентиляційних викидів;
- теплота мас води в різних водоймах (річки, озера, ставки, моря);
- теплота ґрунту та підземних джерел.

Критерієм ефективності термодинамічного циклу теплового насоса є коефіцієнт перетворення теплоти:

$$\varphi = 1 + \frac{Q_u}{L_k} \quad (1)$$

де Q_u – кількість теплоти, підведеної з низькопотенційного джерела до випарника теплонасосної установки;

L_k – робота стиснення компресора.

Зменшення перепаду температур між ізотермами циклу Ренкіна викликає скорочення роботи стиснення та зростання коефіцієнта перетворення теплоти. Використання R142b в теплових насосах дає можливість реалізувати в парокомпресійних ТНУ термодинамічний цикл з верхньою температурою відведення теплоти на рівні 90°C [7].

Зменшити температурний перепад без значного впливу на ефективність системи опалення можна за умови використання нового напрямку у теплофікації – «теплі підлоги». Технології створення «тепліх підлог» відпрацьовані та розширюють обсяги використання, а ТНУ з «теплими підлогами» – це ще не заповнена ніша комунальної теплоенергетики.

Лінійка потужності теплових насосів досить різноманітна, тому робить можливим забезпечення теплопостачання приватного будинку. Головним пріоритетом при реалізації такого проекту є наявність джерела низькотемпературної теплової енергії та економічна ефективність самого проекту. Перед встановленням ТНУ постає потреба в проекті опалення, також попередньо проводиться розрахунок теплових втрат у приміщенні – це потрібно для того, щоб підібрати найбільш ефективний насос, який постачатиме теплом у необхідній кількості. Для монтажу обладнання потрібна оцінка технічних умов.

При встановленні ТНУ необхідно дотримуватись наміченого плану робіт:

- буріння свердловини;
- встановлення зондів та їх занурення на глибину;
- занурення колектора, до якого встановлені теплообмінники;
- опускання труб з теплоносієм, а також з холодоагентом;
- розведення труб та їх з'єднання;
- встановлення баків, забезпечених термометром та нагрівальним елементом;
- підключення до електромережі;
- підключення до системи опалення будинку;
- пробний запуск системи.

Застосування теплових насосів є економічно виправданим, якщо тепла енергія використовується безпосередньо на місці установки обладнання.

У системах теплопостачання для приватних будинків потрібно враховувати протяжність теплових мереж споживача, які вимагають капітальних вкладень під час будівництва і експлуатації, але в перспективному баченні окупуються при використанні. Розглянемо можливу схему підключення ТНУ для приватних будинків на рис.1, розроблену на основі досліджень [8]:

Щоб забезпечити ефективну роботу теплового насоса, необхідно дотримуватися низки умов:

- приміщення має бути якісно утепленим (тепловтрати не можуть перевищувати 100 Вт/м²);
- тепловий насос вигідно використовувати для низькотемпературних опалювальних систем. Цей критерій відповідає системі теплої підлоги [9], оскільки її температура 35-40°C. ККД багато в чому залежить від співвідношення між температурою вхідного контуру і вихідного.

Принцип дії ТНУ:

- холодоагент надходить у випарний контур і змінює свій агрегатний стан. При переході з рідкого стану в газоподібний з середовища поглинається тепло;
- за допомогою компресора газ під значним тиском переміщується в місце де необхідно віддати тепло. При цьому температура самого холодоагенту збільшується в декілька разів;
- стиснутий газ у теплообміннику конденсується, віддаючи при цьому накопичену енергію;
- тепло, що вивільнилося, передається рідині, яка циркулює в системі опалення будинку.

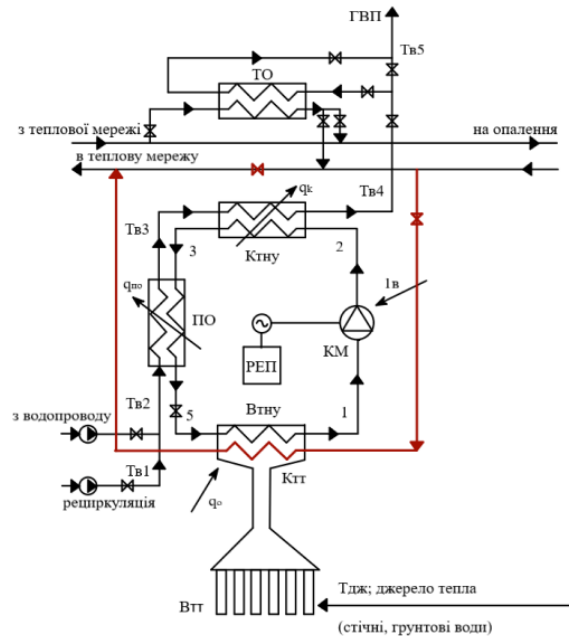


Рис. 1. Схема підключення ТНУ для приватних будинків, розроблена на основі досліджень [8]

де ТНУ – теплонасосна установка;

КМ – компресор;

К_{тну} – конденсатор ТНУ;

ПО – переохолоджувач;

В_{тну} – випарник ТНУ;

ТТ – тепла труба;

К_{тт} – конденсатор ТТ;

В_{тт} – випарник ТТ;

РЕП – регулятор електроприводу;

ТО – теплообмінник.

Енергія здатна без обмеження постійно переміщатися від пристрою, де здійснюється її відбір, до радіаторів опалення, тому цей процес нагадує спосіб перекачування будь-яких рідких або газоподібних речовин. Навіть незважаючи на те, що тепловий насос, який використовується для опалення будинку, споживає значну кількість електроенергії, в результаті такий спосіб обігріву обійдеться значно дешевше за використання традиційних печей і котлів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Застосування теплових насосів є економічно виправданим, якщо тепла енергія використовується безпосередньо на місці установки обладнання.

У енергодефіцитних регіонах з електричної потужності використання теплових насосів має розглядатися лише як перспективний напрямок, так як при переході з централізованого опалення на насос (навіть за наявності у безпосередній близькості джерела низькотемпературного тепла) [10] може спричинити зростання навантаження на енергосистему у зв'язку із споживанням насосом електроенергії.

Література

1. Проценко В.П., Радченко В.Е. Коефіцієнт перетворення парокompresійних теплових насосів//Теплоенергетика. 1998. №8.
2. Всесвітній геотермальний конгрес WGC-005 // Теплоенергетика. 2006. № 3.С. 78-80.
3. Васильєв Г.П., Шилкін Н.В. Використання низькопотенційної теплової енергії землі в теплонасосних системах // АВОК. 2003. № 2.
4. Жидович І.С., Трутаєв В.І. Системний підхід до оцінки ефективності теплових насосів // Новини теплопостачання. 2001. №11.
5. Горшков В. Г. Теплові насоси. Аналітичний огляд // Методичка промислового устаткування. 2004. № 2.
6. Петін Ю. М. Досвід виготовлення теплових насосів в ЗАО «Енергія» // Енергетична політика. 2001. Вип. 3.
7. Джеджула В. В. Управління альтернативними джерелами енергії у системі інноваційного розвитку підприємств [Текст] / [В. В. Джеджула] // Процесне та соціально-компетентне управління інноваційним розвитком підприємницьких систем : монографія / за наук. ред. О. М. Полінкевич. – Луцьк : Вежа-Друк, 2017. – Розд. 5.1. – С. 146-155.
8. Огуречников Л.А. Аналіз ефективності низькотемпературних енергозберігаючих технологій // Енергетика. 2006. № 6. С. 42-51.
9. Джеджула В. В., Єпіфанова І. Ю. Енергозбереження як напрям підвищення безпеки критичних систем житлових будинків. Вісник Хмельницького національного університету. 2022. №2. Т. 1. С. 72-76.
10. Джеджула В. В. Альтернативні джерела енергозбереження фермерських господарств [Текст] / В. В. Джеджула, Л. Л. Демченко // Індивідуальний житловий будинок : збірка. - Вінниця : Континент, 2001. - С. 137-141.

References

1. Protsenko V.P., Radchenko V.E. Koeffitsient peretvorennia parokompresiiynykh teplovykh nasosiv//Teploenerhetyka. 1998. №8.
2. Vsesvitnii heotermalnyi konhres WGC-005 // Teploenerhetyka. 2006. № 3.S. 78-80.
3. Vasyliiev H.P., Shylkin N.V. Vykorystannia nyzkopotentsiinoi teplovoi enerhii zemli v teplonasosnykh systemakh // AVOK. 2003. № 2.
4. Zhydovych I.S., Trutaiev V.I. Systemnyi pidkhid do otsinky efektyvnosti teplovykh nasosiv // Novyny teplopostachannia. 2001. №11.
5. Horshkov V. H. Teplovi nasosy. Analitychnyi ohliad // Metodychka promyslovoho ustatkuvannia. 2004. № 2.
6. Petin Yu. M. Dosvid vyhotovlennia teplovykh nasosiv v ZAO «Enerhiia» // Enerhetychna polityka. 2001. Vyp. 3.
7. Dzhdzhula V. V. Upravlinnia alternatyvnymy dzherelamy enerhii u systemi innovatsiinoho rozvytku pidpriemstv [Tekst] / [V. V. Dzhdzhula] // Protsesne ta sotsialno-kompetentne upravlinnia innovatsiynym rozvytkom pidpriemnytskykh system : monohrafiia / za nauk. red. O. M. Polinkevych. – Luts'k : Vezha-Druk, 2017. – Rozd. 5.1. – S. 146-155.
8. Ohuriechnikov L.A. Analiz efektyvnosti nyzkotemperaturnykh enerhozberihaiuchykh tekhnolohii // Enerhetyka. 2006. № 6. S. 42-51.
9. Dzhdzhula V. V., Yepifanova I. Yu. Enerhozbezrehennia yak napriam pidvyshchennia bezpeky krytychnykh system zhytlovykh budynkiv. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2022. №2. T. 1. S. 72-76.
10. Dzhdzhula V. V. Alternatyvni dzherela enerhozbezrehennia fermerskykh gospodarstv [Tekst] / V. V. Dzhdzhula, L. L. Demchenko // Indyvidualnyi zhytlovyi budynok : zbirka. - Vinnytsia : Kontynent, 2001. - S. 137-141.

Рецензія/Peer review : 21.07.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

АЗАРОВ О. Д.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2583-0882>e-mail: azarov.oleksiy@gmail.com

СТАХОВ О. Я.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4901-3211>e-mail: aleksey.stahov@gmail.com

ДВОТАКТНІ БУФЕРНІ ПРИСТРОЇ НАПРУГИ НА БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРАХ

У статті розроблено двотактні буферні пристрої напруги на біполярних транзисторах із мінімальним значенням вхідного струму. Для усунення адитивної похибки запропоновано метод, що базується на введенні до схеми двотактного вихідного підсилювача потужності. Запропонований буфер напруги складається з буферного елемента та підсилювача потужності. Доведено, що його застосування дозволяє істотно збільшити струм, що віддається вихідною шиною пристрою у навантаження. Схема буферного пристрою має низький рівень вхідного струму. Запропоновано вхідний каскад буферного елемента реалізувати на складених транзисторах Шиклаї, що забезпечує істотне зниження зсуву нуля до рівня 20 нА. Наявність підсилювача потужності гарантує високу лінійність передатної характеристики в діапазоні вихідного струму ± 5 мА.

Ключові слова: високолінійний двотактний буферний пристрій, біполярний транзистор, адитивна похибка, струм зсуву нуля.

Olexiy AZAROV

Vinnytsia National Technical University

Olexiy STAKHOV

Vinnytsia National Technical University

PUSH-PULL VOLTAGE BUFFER DEVICES ON BIPOLAR TRANSISTORS

The article proposes linear push-pull buffer devices on bipolar transistors. A highly linear push-pull voltage buffer device with parametric zero shift compensation is considered. A variant of the construction of a highly linear push-pull voltage buffer device on bipolar transistors with a minimum value of the input current is proposed. The purpose of the work is to minimize the additive error of the buffer device by significantly reducing the input current. Analytical relations are given that allow estimating the additive error of the zero shift. The schematic diagram of a two-stroke buffer device with an internal zero-shift compensation generator is also considered. It is noted that the technological spread of transistor parameters will not allow to significantly reduce this error. To eliminate this shortcoming, the authors proposed a method based on the introduction of a two-stroke output power amplifier into the circuit. Such a voltage buffer consists of two parts: a buffer element and a power amplifier. It is noted that the load capacity of the buffer element is not high, so the use of a power amplifier allows you to significantly increase it, and, accordingly, to increase the current supplied by the output bus of the device to the load. It is shown that the proposed scheme of the buffer device has a low level of input current (at the level of no more than 20 nA). It is also noted that the presence of a power amplifier allows maintaining the balance between the input and output potentials of the circuit and ensuring high linearity of the transfer characteristic, regardless of possible changes in the output current in the specified range. It is proposed to implement the input stage of the buffer element on compound Shikla transistors, which ensures a significant reduction of the zero shift to the level of 20 nA. The presence of a power amplifier guarantees high linearity of the transmission characteristic in the output current range of ± 5 mA.

Key words: performance, analog-digital conversion, structural and informational redundancy, bit-by-bit sequential balancing ADC.

Постановка проблеми

Буферні пристрої є аналоговими вузлами, що використовуються у багатьох електронних пристроях, зокрема, багаторозрядних системних АЦП і ЦАП, які у свою чергу входять до складу високоточних систем вимірювання, опрацювання та реєстрування сигналів [1– 7]. Буферні пристрої призначені для узгодження опору генератора сигналу з опором навантаження та по суті є підсилювачами потужності. При цьому буфер напруги (БН) виступає в ролі трансформатора опорів з високим вхідним та низьким вихідним опором. Коефіцієнт передачі по напрузі БН дорівнює одиниці. Струм, який видається БН у навантаження, може бути набагато більший, ніж вхідний. Такі буферні пристрої називають повторювачами напруги. Буфер струму (БС), навпаки, має низький вхідний та високий вихідний опори. Коефіцієнт передачі по струму БС, як правило, дорівнює одиниці і не залежить від опору навантаження.

Відомий двотактний буферний пристрій напруги з параметричною компенсацією зсуву нуля, розглянутий у [8]. Одним із недоліків його є порівняно високе значення вхідного струму зсуву нуля $I_{sc,0}$ (на рівні 1 мкА). У випадку застосування малопотужного генератора вхідної напруги це призведе до високої адитивної похибки. Це пов'язано із застосуванням у схемі біполярних транзисторів. Спроба ж використання польових транзисторів однозначно призведе до збільшення вхідної похибки зсуву нуля по напрузі, для коригування якої доведеться застосовувати складне додаткове обладнання, яке ж до того може знизити швидкодію пристрою. Автори пропонують інший варіант побудови високолінійного двотактного буферного пристрою на біполярних транзисторах із суттєво меншим значенням вхідного струму $I_{вх}$. При цьому, варто зауважити, що запропонований підхід є маловідомим та досить дієвим, тому тема статті, присвячена методу

побудови високолінійних двотактних буферних пристроїв на біполярних транзисторах, є актуальною.

Метою роботи є зниження адитивної похибки буферного пристрою за рахунок істотного зменшення (на 1–2 порядки) вхідного струму зсуву нуля $I_{zc.0}$.

Завдання дослідження полягають:

- в аналізі особливостей побудови запропонованої схеми високолінійного двотактного буферного пристрою та специфіки складових її конфігурацій;
- у дослідженні схеми ядра буферного елемента та особливостей його побудови;
- у виведенні аналітичних співвідношень, що дозволяють оцінити адитивну похибку зсуву нуля.

Високолінійні буферні пристрої

Існують деякі варіанти побудови високолінійних двотактних буферних пристроїв. Розглянемо схему двотактного буферного пристрою, наведеного на рис. 1.

Схема двотактного буферного пристрою з внутрішнім генератором компенсації зсуву нуля містить вхідний каскад, побудований на транзисторах VT2, VT3. При цьому вхідний струм I_{vx} зсуву нуля дорівнює

$$I_{vx} = I_{b2} - I_{b3},$$

де I_{b2} , I_{b3} – базові струми відповідних транзисторів.

Варто зазначити, що, якщо значення робочих струмів $I_p = 1\text{mA}$, $\beta_{n-p-n} \approx 100$, $\beta_{p-n-p} = 50$, то $I_{vx} = 10\text{мкА}$, що призведе до значного рівня похибки зсуву нуля. Для зменшення вхідного струму у наведений на рис. 1 схемі використовується внутрішній генератор компенсації зсуву нуля, побудований на транзисторах VT5 – VT10.

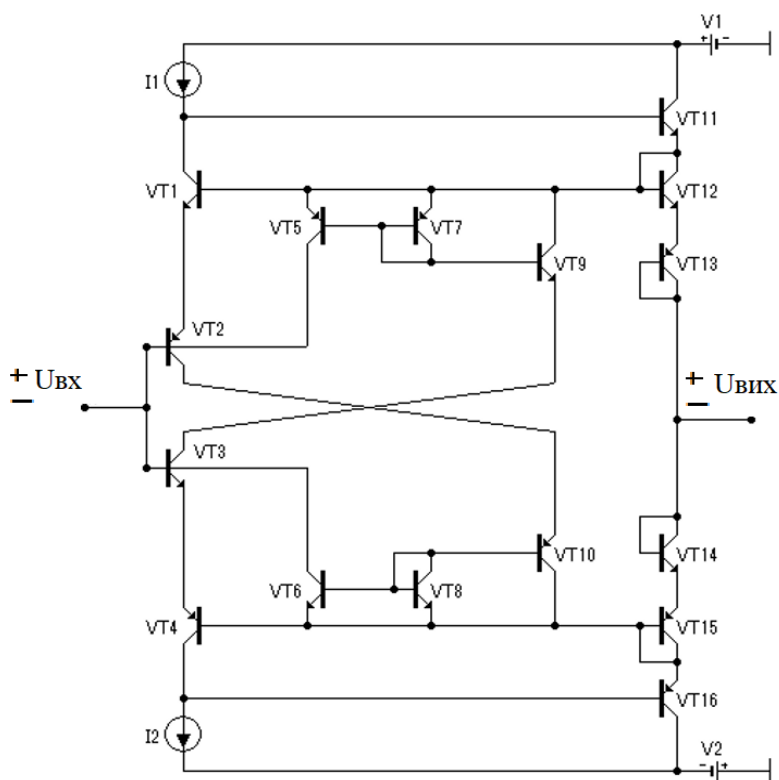


Рис. 1. Принципова схема двотактного буферного пристрою з внутрішнім генератором компенсації зсуву нуля $I_{zc.0}$

Зауважимо, що технологічний розкид параметрів транзисторів не дозволить істотно зменшити цю похибку [9]. Треба також відзначити, що протікання струму з виходу схеми в навантаження додатково призведе до розбалансу потенціалів між входом і виходом, що спричинить додаткове збільшення адитивної похибки, а також погіршення лінійності передатної характеристики.

Для усунення вказаних недоліків автори пропонують інший підхід до побудови високолінійного двотактного буферного пристрою з вихідним підсилювачем потужності. Суть такого підходу розглянемо нижче.

Аналіз схеми високолінійного двотактного буферного пристрою з вихідним підсилювачем потужності

Загальну принципову схему двотактного високолінійного буфера напруги наведено на рис. 2. Вона складається з двох частин. Перша частина (I) містить схему двотактного буферного елемента [10]. Її побудовано на 16 транзисторах (Q1–Q14, Q'11, Q'12). Вхідний каскад буферного елемента (БЕ) побудовано

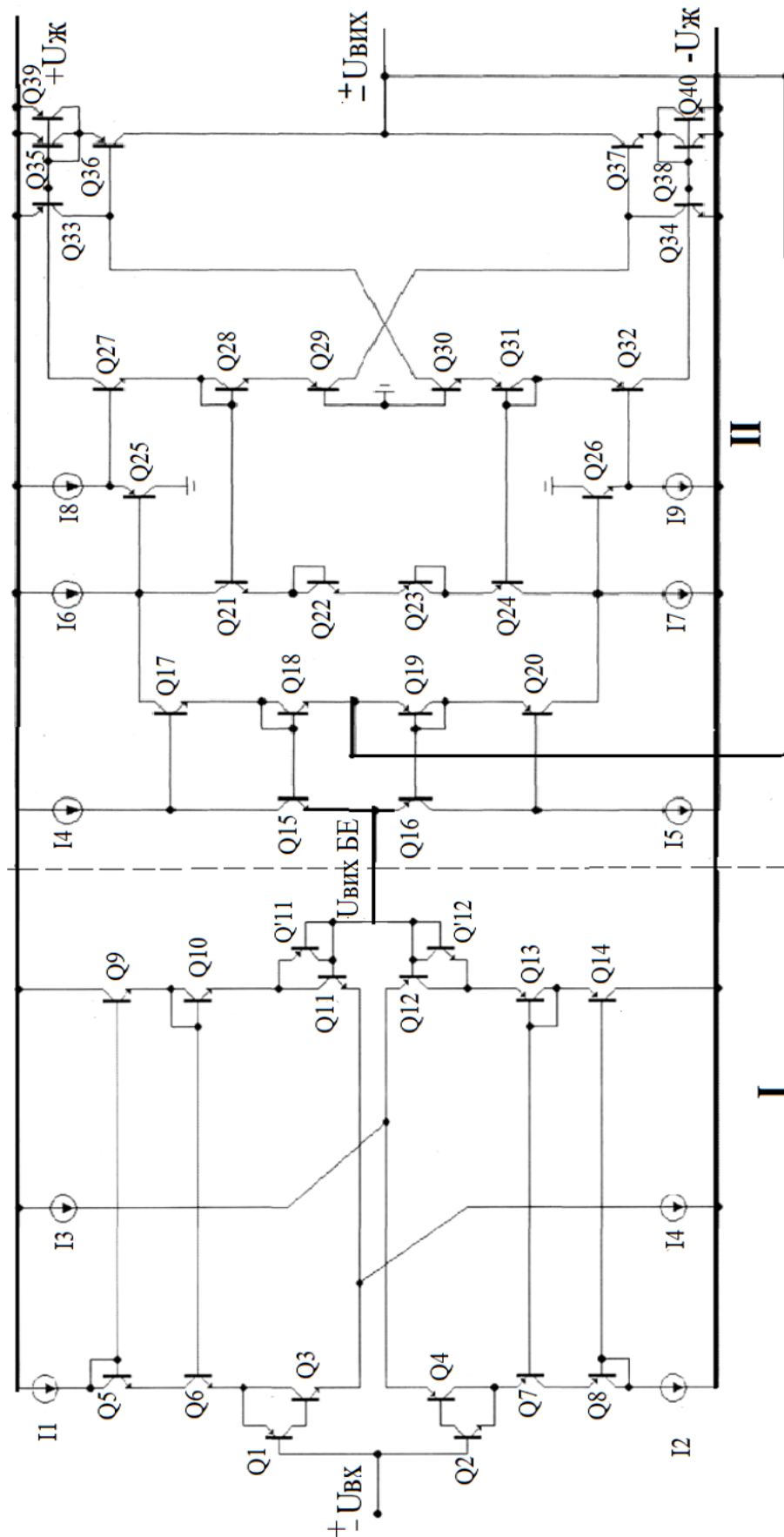


Рисунок 2 - Схема двотактного високолінійного буфера напруги з підсилювачем потужності

на $n-p-n$ і $p-n-p$ складених транзисторах Шиклаї [4], чотирьох генераторах робочих струмів I1–I4, що задають потрібні режими зміщення. Вихід БЕ побудовано на транзисторах Q11, Q12, Q'11, Q'12. На його виході формується напруга $U_{\text{вих БЕ}}$, значення якої з високою точністю дорівнює $U_{\text{вх}}$. Варто зазначити, що

навантажувальна здатність БЕ є невисокою. Для її збільшення у пристрій вводиться двотактний підсилювач потужності (ДППТ) – частина II (рис. 1). Його також побудовано за двотактною схемою [11]. Уведення підсилювача потужності дозволяє істотно покращити навантажувальну здатність пристрою і, відповідно, збільшити струм, який віддається з вихідної шини пристрою $\pm U_{вих}$ у навантаження.

Застосування такої конфігурації БЕ дозволяє зменшити значення вхідного струму $I_{вх}$ на рівні:

$$I_{вх} \leq \frac{I_p}{\beta_{n-p-n} \square \beta_{p-n-p}}.$$

Якщо $I_p = 1 \text{ mA}$, $\beta_{n-p-n} \approx 100$, $\beta_{p-n-p} \approx 50$, то $I_{вх} \leq 200 \text{ nA}$.

Схема розглянутого високолінійного буферного пристрою забезпечує такі характеристики:

- діапазон вхідного сигналу: $\pm 5 \text{ В}$;
- вихідний струм: $\pm 5 \text{ mA}$;
- похибка зсуву нуля $\Delta U_{зс.0} \leq 1 \text{ мкВ}$;
- похибка масштабу $\delta_m \leq 1 \square 10^{-4} \%$;
- похибка лінійності $\delta_l = 5 \square 10^{-6} \%$;
- вхідний струм зсуву нуля $I_{зс.0} \leq 200 \text{ nA}$

Розглянуті параметри наведено на рис. 3.

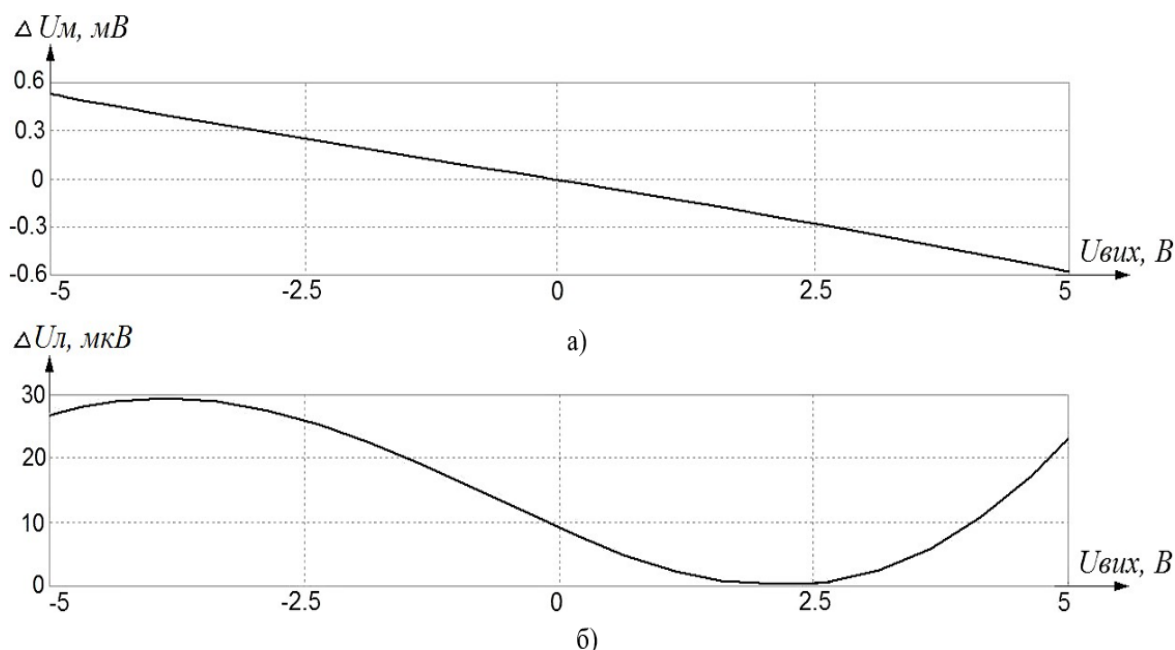


Рис. 3. Характеристики високолінійного двотактного буферного пристрою:

- а) похибка масштабу передатної характеристики ΔU_m ;
б) похибка лінійності передатної характеристики ΔU_l

Таким чином, запропонована схема буферного пристрою має достатньо низький рівень вхідного струму $I_{зс.0} \leq 200 \text{ nA}$.

Застосування вихідного підсилювача потужності дозволяє зберігати баланс між вхідним і вихідним потенціалами схеми в умовах протікання струму в навантаження та забезпечити високу лінійність передатної характеристики, не зважаючи на можливі зміни вхідного струму.

Висновки

У статті подано різні методи побудови високолінійних двотактних буферів напруги. Показано, що, внаслідок існуючих технологічних обмежень виготовлення біполярних транзисторів, для зменшення вхідного струму зсуву нуля, треба застосовувати компенсацію вхідного різницевого струму. Це дає можливість зменшити похибку приблизно в $(\beta_{n-p-n} - \beta_{p-n-p})$ -разів.

Запропоновано метод побудови високолінійних двотактних буферів напруги із застосуванням вихідного двотактного підсилювача потужності, а також реалізацію вхідного каскаду буферного елементу здійснювати на складених транзисторах. Це забезпечує істотне зниження вхідного струму зсуву нуля, а також високу лінійність передатної характеристики в діапазоні вихідного сигналу.

Отримано аналітичне співвідношення, що дозволяє оцінити рівень адитивної похибки двотактного високолінійного буфера напруги.

Наукова новизна полягає в удосконаленні методу побудови високолінійних двотактних буферів напруги, що, на відміну від існуючих підходів, шляхом застосування структурної та інформаційної

надлишковості дозволяє суттєво знизити адитивну похибку схеми та забезпечити високу лінійність передатної характеристики.

Практична значимість полягає у створенні високолінійних двотактних буферів напруги з мінімальними додатковими апаратними витратами.

Література

1. Walt Kester. Analog-digital conversion. ADI Central Application Department, USA, 2004, 1127 p.
2. Walt Kester. Drive Circuitry is Critical to High-Speed Sampling ADCs. Electronic Design Special Analog Issue. 1994. № 7. P. 43–50.
3. Kester W. Data Conversion Handbook (Analog Devices). Analog Devices Inc. Engineeri. Newnes; 1st edition. December 16, 2004. 976 p. ISBN-10: 0750678410. ISBN-13: 978-0750678414.
4. Alan B. Grebene. Bipolar and MOS analog integrated circuit design. New Jercey, USA: Wiley Classic Library, 2002, 915 p.
5. Азаров О. Д., Богомолов С. В., Стахов О. Я. Багатоканална швидкодіюча система АЦП-ЦАП на базі високолінійних перетворювачів струм-струм. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. Т. 53. № 1. 2021. С. 69–79. URL : <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-50-1-69-79> (Дата звернення 29.07.22).
6. Olexiy D. Azarov, Sergii V. Bohomolov, Svitlana A. Kyrylashchuk, Olexiy J. Stakhov, Mariusz Duk, and Yedilkhan Amirgaliyev. High speed buffer devices on the base of push-pull current amplifiers. Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High- Energy Physics Experiments 2019, 111765W6, November 2019. <https://doi.org/10.1117/12.2536902>.
7. Азаров О. Д., Богомолов С. В. Прецизійні буферні пристрої на базі двотактних симетричних структур. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2011. № 3(22). С. 4–12.
8. Азаров О. Д., Богомолов С. В., Стахов О. Я. Високолінійні двотактні буферні пристрої напруги з параметричною компенсацією зсуву нуля. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2022. № 1(53). С. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-69-76>.
9. Патент на корисну модель 141391, (UA) МПК:(2020.01) H03K 5/00 G05F 1/08 (2006.01). Буфер напруги / Азаров О. Д., Обертюх М. Р., Стахов О. Я., Лизогуб Д. В. № u201908721, заявл. 19.07.2019, Опубл. 10.04.2020, бюл. № 7/2020.
10. Патент на корисну модель 135679, (UA) МПК: H03F 3/26 (2006.01). Буферний каскад / Азаров О. Д., Кириляшук С. А., Богомолов С. В., Обертюх М. Р., Медяний Р. М. № u201901341, заявл. 11.02.2019. Опубл. 10.07.2019, бюл. № 13/2019.
11. Патент на корисну модель 140168, (UA) МПК: G05F 1/08 (2006.01). Двотактний підсилювач постійного струму / Азаров О. Д., Обертюх М. Р., Стахов О. Я., Лукашук О. О. № u201907299, заявл. 01.07.2019. Опубл. 10.02.2020, бюл. № 3/2020.

References

1. Walt Kester. Analog-digital conversion. ADI Central Application Department, USA, 2004, 1127 p.
2. Walt Kester. Drive Circuitry is Critical to High-Speed Sampling ADCs. Electronic Design Special Analog Issue. 1994. № 7. P. 43–50.
3. Kester W. Data Conversion Handbook (Analog Devices). Analog Devices Inc. Engineeri. Newnes; 1st edition. December 16, 2004. 976 p. ISBN-10: 0750678410. ISBN-13: 978-0750678414.
4. Alan B. Grebene. Bipolar and MOS analog integrated circuit design. New Jercey, USA: Wiley Classic Library, 2002, 915 p.
5. Azarov O. D., Bohomolov S. V., Stakhov O. Ya. Bahatokanalna shvydkodiiucha systema ATsP-TsAP na bazi vysokoliniinykh peretvoriuvachiv strum-strum. Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia. T. 53. № 1. 2021. S. 69–79. URL : <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-50-1-69-79> (Data zvernennia 29.07.22).
6. Olexiy D. Azarov, Sergii V. Bohomolov, Svitlana A. Kyrylashchuk, Olexiy J. Stakhov, Mariusz Duk, and Yedilkhan Amirgaliyev. High speed buffer devices on the base of push-pull current amplifiers. Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High- Energy Physics Experiments 2019, 111765W6, November 2019. <https://doi.org/10.1117/12.2536902>.
7. Azarov O. D., Bohomolov S. V. Pretsyziini buferni prystroi na bazi dvotaktnykh symetrychnykh struktur. Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia. 2011. № 3(22). S. 4–12.
8. Azarov O. D., Bohomolov S. V., Stakhov O. Ya. Vysokoliniini dvotaktni buferni prystroi napruhy z parametrychnoiu kompensatsieiu zsvu nulia. Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia. 2022. № 1(53). S. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-69-76>.
9. Patent na korysnu model 141391, (UA) MPK:(2020.01) H03K 5/00 G05F 1/08 (2006.01). Bufer napruhy / Azarov O. D., Obertiukh M. R., Stakhov O. Ya., Lyzohub D. V. № u201908721, zaiavl. 19.07.2019, Opubl. 10.04.2020, biul. № 7/2020.
10. Patent na korysnu model 135679, (UA) MPK: H03F 3/26 (2006.01). Bufernyi kaskad / Azarov O. D., Kyrylashchuk S. A., Bohomolov S. V., Obertiukh M. R., Mediany R. M. № u201901341, zaiavl. 11.02.2019. Opubl. 10.07.2019, biul. № 13/2019.
11. Patent na korysnu model 140168, (UA) MPK: G05F 1/08 (2006.01). Dvotaktnyi pidlyuvach postiinoho strumu / Azarov O. D., Obertiukh M. R., Stakhov O. Ya, Lukashuk O. O. № u201907299, zaiavl. 01.07.2019. Opubl. 10.02.2020, biul. № 3/2020.

Рецензія/Peer review : 23.06.2022 p.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 p.

АЗАРОВ О. Д.

Вінницький національний технологічний університет
<https://orcid.org/0000-0002-2583-0882>
e-mail: azarov.olexiy@gmail.com

ФІГАС А. С.

Вінницький національний технологічний університет
<https://orcid.org/0000-0003-1380-8394>
e-mail: annavegas1488@gmail.com

ТЕРМОСТАБІЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ОПОРНОГО СТРУМУ І НАПРУГИ ДЛЯ ВИСОКОЛІНІЙНОЇ СИСТЕМИ АНАЛОГ-КОД-АНАЛОГ

У роботі проаналізовано підходи до побудови джерел опорної напруги та струму, визначено їх переваги та недоліки. Представлений метод дозволяє отримувати термостабільну опорну напругу у досить широких діапазонах її змінення на виході схеми. У статті наведено запропоновані схеми для реалізації джерел опорної напруги та струму. Виведено аналітичні вирази, що описують функціонування запропонованих схем та показують можливість отримання практично нульового температурного коефіцієнту для них.

Ключові слова: перетворення сигналів, вагова надлишковість, джерело опорної напруги, термостабільність, компенсація, генератор опорного струму.

Oleksiy AZAROV

Vinnytsia National Technical University

Anna FIGAS

Vinnytsia National Technical University

THERMOSTABLE REFERENCE CURRENT AND VOLTAGE SOURCES FOR HIGH-LINEAR ANALOGUE-CODE-ANALOGUE SYSTEM

DC sources and reference voltage sources are widely used in various electronic devices: analog-to-digital and digital-to-analog converters, DC amplifiers, sample-and-hold devices, stabilized voltage sources, and others. At the same time, the accuracy and temperature characteristics of the latter largely depend on the same characteristics of direct current and voltage sources, which are subject to stringent requirements. There are quite a lot of different approaches to the construction of reference voltage and current source circuits with thermal compensation. The most famous of them - with the use of thermally compensated zener diodes operating in reverse breakdown mode. However, devices based on them have a high power consumption and low efficiency and a high level of noise, and it is difficult to implement temperature drift compensation due to a wide spread of temperature characteristics. The so-called bandgap circuits are also widely used - transistor reference voltage sources, the value of the reference voltage of which is determined by the band gap of the semiconductor. The most famous of them are Vidlar's bandgaps and Brokaw's bandgaps. The specificity of all bandgap circuits is the rigid binding of the output voltage to the band gap of the semiconductor. The article proposes an alternative approach to the construction of direct current and voltage sources, which consists in the use of circuits of two-pole direct current sources. A new approach to the construction of thermally stable reference current sources based on bipolar transistors using the band gap voltage of a semiconductor and current mirrors is proposed. The principles of operation of the circuits are described and the possibility of achieving thermal compensation is proved. Computer modelling of the static characteristics of the proposed reference current sources, in particular, the temperature drift of the currents, has been carried out. A new approach to the construction of thermally stable reference voltage sources based on bipolar transistors with the use of thermally stable reference current generators is proposed. Analytical expressions are obtained that describe operation of circuits of reference voltage sources according to the proposed approach. A method for increasing the loading capacity of these reference voltage sources is proposed.

Keywords: signal conversion, weight redundancy, reference voltage, thermal stability, compensation, reference current generator.

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

Джерела постійного струму (ДПС) та джерела опорної напруги (ДОН) широко використовуються в різноманітних електронних пристроях: аналого-цифрових і цифро аналогових перетворювачах [1], підсилювачах постійного струму [2], пристроях вибірки-зберігання аналогових сигналів, джерелах стабілізованої напруги та інших. При цьому точнісні та температурні характеристики останніх значною мірою залежать від аналогічних же характеристик ДПС і до них висуваються жорсткі вимоги щодо мінімальної похибки, низького температурного та часового дрейфу.

Аналіз останніх джерел

У теперішній час існує досить багато різноманітних підходів щодо побудови схем джерел опорної напруги та струму з термокомпенсацією. Найвідомішими серед них є такі, що пов'язані із застосуванням термокомпенсованих стабілітронів, які працюють у режимі зворотного пробію [1-3]. Проте, пристрої на їх основі мають високу споживану потужність, низький коефіцієнт корисної дії і великий рівень шумів. У деяких випадках застосовуються ДОН, де як стабілітрон використовується інтегральний транзистор зі зворотним пробієм переходу база-емітер [2]. Разом із тим, температурну компенсацію дрейфу при цьому важко реалізувати через широкий розкид температурних характеристик. Починаючи з 70-х років ХХ століття, застосовуються так звані схеми бандгап (bandgap) – транзисторні ДОН, значення опорної напруги яких визначається шириною забороненої зони напівпровідника [4-6]. Найвідомішими серед них є бандгапи

Відлара і Брокау. Недоліком схем Відлара є складність налаштування, а Брокау – наявність операційного підсилювача з окремим джерелом напруги живлення. Специфікою всіх схем бандгапів є жорстка прив'язка до ширини забороненої зони (1205 мВ) або кратної їй. Для усунення вищезазначеного недоліка автори пропонують альтернативний підхід щодо побудови ДПС і ДОН, який полягає у застосуванні схем двополіусних ДПС. Їхньою перевагою є автономність (внутрішня замкненість структури), тобто незалежність від статичних характеристик схем, в яких вони використовуються, а також можливість застосування у різноманітних конфігураціях кіл. Оскільки вказаний підхід є новим, доцільним є розкриття результатів його застосування, тому обрана тема дослідження, що пов'язана з таким методом, є актуальною.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є дослідження розширених функціональних можливостей ДОН та ДПС, що полягає у аналізі нових методів побудови схем термокомпенсованих двополіусних ДПС кільцевого типу та ДОН на їх основі.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо методи побудови термокомпенсованих двополіусних ДПС. Побудова термокомпенсованих джерел струму і напруги базується на наступних властивостях: залежність напруги на р-п переході від струму через нього визначається формулою:

$$U = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \left(\frac{I}{I_T} - 1 \right), \quad \text{для } I \gg I_T \quad U \approx \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \left(\frac{I}{I_T} \right), \quad (1)$$

де k – постійна Больцмана;

q – заряд електрона;

T – абсолютна температура;

I_T – тепловий струм р-п переходу.

Значення теплового струму більш точно задається формулою [58]:

$$I_T = I_{T0} \cdot T^3 \cdot e^{-\frac{q \cdot E_G}{k \cdot T}}, \quad (2)$$

де I_{T0} – деяка константа;

E_G – напруга забороненої зони напівпровідника.

Підставляючи це значення в попередній вираз, отримаємо:

$$U = \frac{k \cdot T}{q} \cdot (\ln(I) - \ln(I_{T0}) - 3 \cdot \ln(T)) + E_G. \quad (3)$$

Схема джерела опорного струму, що дозволяє домогтися первинної компенсації температурного дрейфу, показано на рис. 1 а).

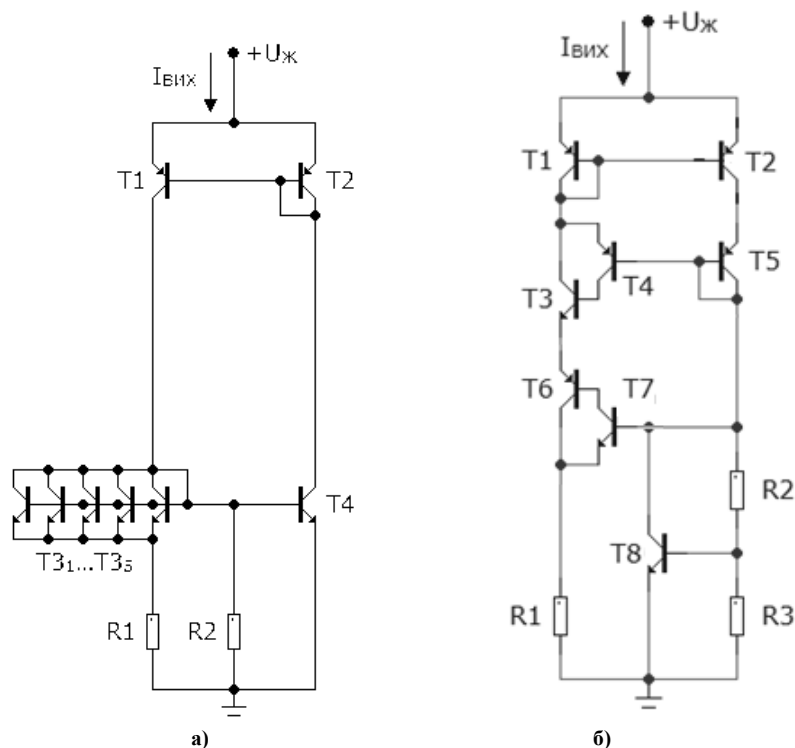


Рис. 1. Джерела опорного струму: а) найпростіша схема; б) схема з первинною компенсацією температурного дрейфу

Вона містить струмове дзеркало на транзисторах T1-T2, генератор опорного струму на транзисторах T3-T5 і резисторах R1 і R2 і генератор опорної напруги на транзисторі T4. Коефіцієнт передачі струму токового дзеркала – 1, через транзистори T3-T5 і резистор R1 протікає струм I_1 , через резистор R2 – струм I_2 , а через транзистор T4 протікає сумарний струм (I_1+I_2). Температурна компенсація досягається таким чином. При підвищенні температури напруга на переході емітер-база транзистора T4 падає, таким чином, падає струм через резистор R2 (I_2). За рахунок того, що через T4 протікає струм в декілька разів більший, ніж через T3, напруга на переході емітер – база транзисторів T3-T5 падає швидше, як наслідок – напруга на R1 і струм через нього (I_1) зростає. Підбором резисторів R1 і R2 можна домогтися взаємної компенсації зміння цих струмів і постійності сумарного струму (I_1+I_2) при зміні температури.

На рис. 2 показана залежність $I_{ВІХ}(T)$ для даної схеми, отримана шляхом моделювання в Micro-Cap для випадку досягнення компенсації температурного дрейфу вихідного струму. Відхилення $I_{ВІХ}$ в діапазоні $-50^{\circ}\text{C}...+50^{\circ}\text{C}$ складають 3,3 мкА при вихідному струмі 1 мА.

Більш складну схему джерела опорного струму, що дозволяє домогтися компенсації температурного дрейфу на порядок краще, показано на рис. 1 б. Вона містить струмове дзеркало Уїлсона на транзисторах T1-T5, генератор опорного струму на транзисторах T6-T7 і резисторі R1, і генератор опорної напруги на транзисторі T8 і резисторах R2 і R3. Коефіцієнт передачі струму токового дзеркала – 1, через транзистори T6-T7 і резистор R1 протікає сумарний струм (I_1+I_2), через резистор R2 і R3 – струм I_2 , а через транзистор T8 – струм I_1 . Температурна компенсація досягається таким чином. За умови, що сумарний струм (I_1+I_2) (при зміні температури) і, як наслідок, напруга на резисторі R1 не змінюються, то, при підвищенні температури, напруга на переході емітер-база транзистора T7 падає, таким чином, падає струм через ділянку на резисторах R2 і R3 (I_2) і зменшується потенціал бази транзистора T8. За рахунок того, що через T8 і T7 протікають струми різної величини (через T7 приблизно в β разів менший), напруга на переході емітер-база транзистора T7 і бази транзистора T8 має падати швидше, ніж напруга на переході емітер-база транзистора T8, за умови, що струм через нього залишається незмінним. Як наслідок, струм через перехід емітер-база транзистора T8 (I_1) зростає. Підбором резисторів R1, R2 і R3 можна домогтися взаємної компенсації цих струмів і постійності сумарного струму (I_1+I_2) при зміні температури.

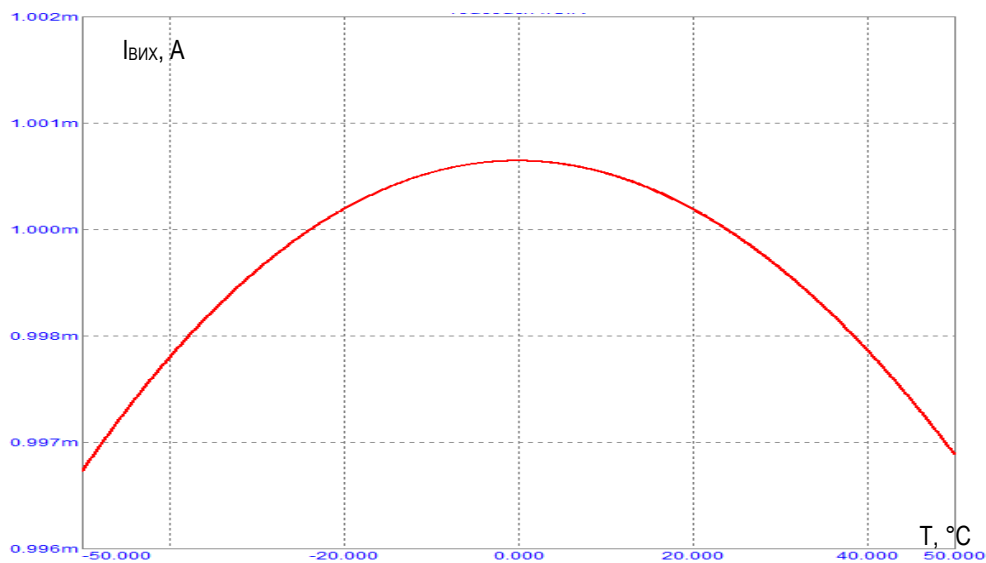


Рис. 2. Графік залежності $I_{ВІХ}(T)$ для термокомпенсованого ДОС

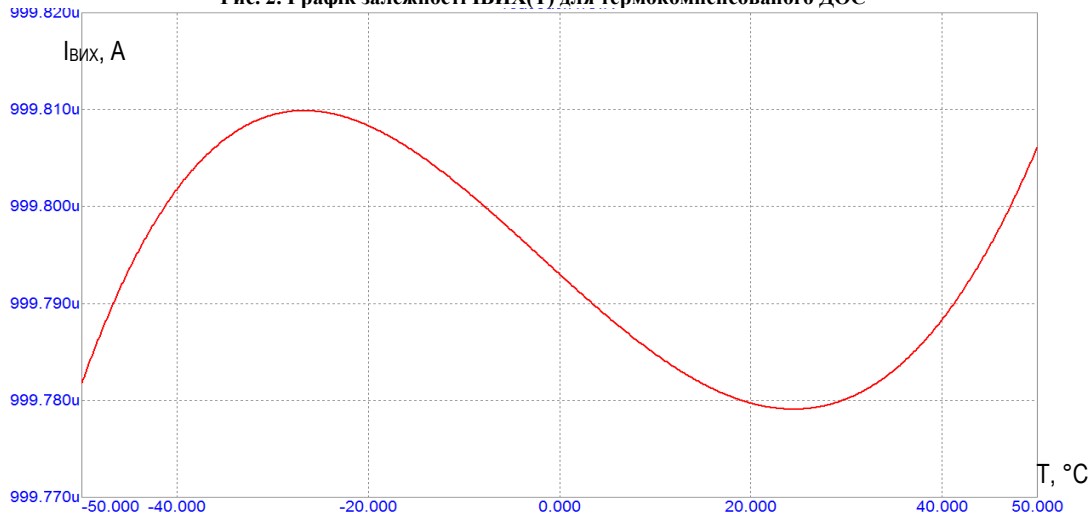


Рис. 3. Графік залежності $I_{ВІХ}(T)$ для термокомпенсованого ДОС другого порядку

На рис. 3 показано залежність $I_{\text{вих}}(T)$ для досягнення компенсації температурного дрейфу вихідного струму, яка отримана шляхом моделювання в Micro-Cap. Відхилення $I_{\text{вих}}$ в діапазоні $-50^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$ складають 29 нА при вихідному струмі 1 мА.

Транзистори ТЗ–Т5 додано для підвищення вихідного опору схеми. Отримане під час моделювання у Micro-Cap значення вихідного опору схеми складає 505 кОм.

Разом із термостабільними джерелами опорного струму, необхідними є термостабільні джерела опорної напруги. Температурна стабільність таких джерел опорної напруги визначається, в першу чергу, тепловими характеристиками активних і пасивних компонентів схеми, а також можливістю компенсувати їх температурні дрейфи. Розглянемо схему базового вузла – термостабільного перетворювача опорного струму в опорну напругу, наведену на рис. 4 а). Вона складається з джерела опорного струму $I_{\text{оп}}$, джерела струму I_p , опорного резистора $R_{\text{оп}}$, що задає величину вихідної напруги, транзисторів T_d , $T_{\text{КС}}$ і резистора регулятора $R_{\text{КС}}$.

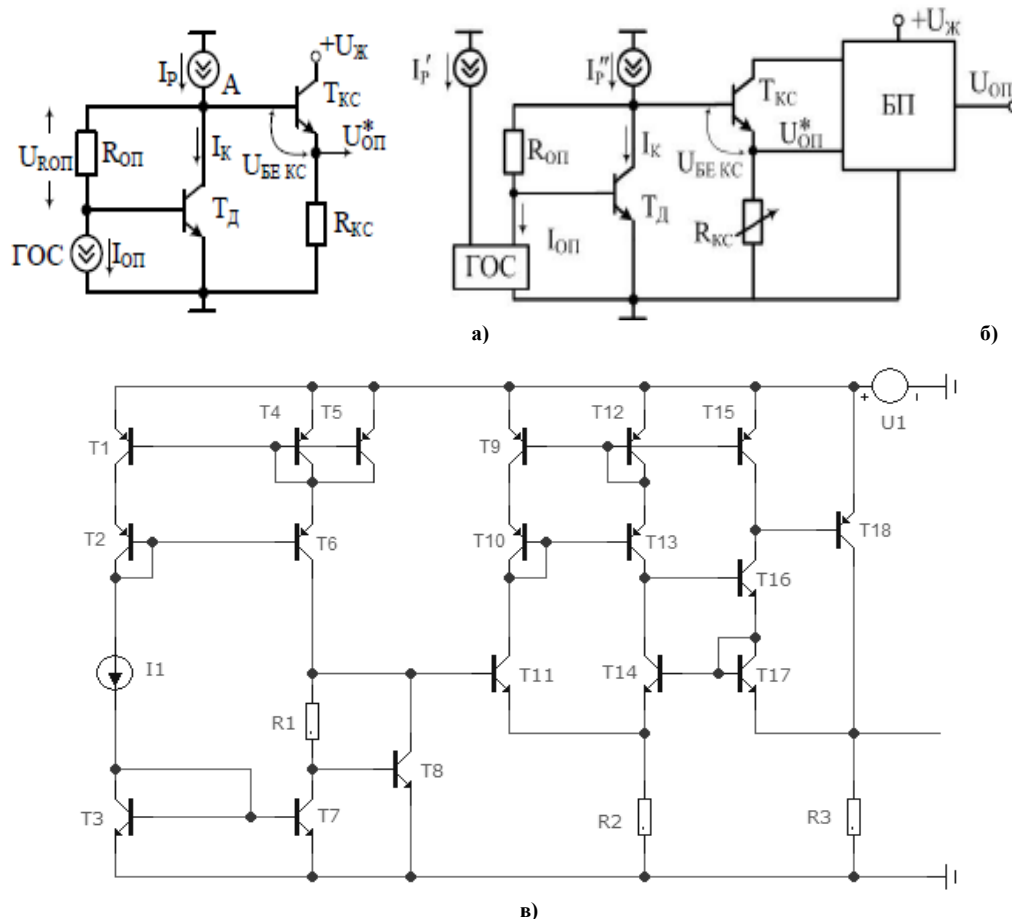


Рис. 4. Термостабільне джерело опорної напруги: а) формувач термокомпенсованої опорної напруги; б) формувач термокомпенсованої опорної напруги з буферним пристроєм

Значення вихідної напруги становитиме:

$$U_{\text{оп}}^* = U_{\text{БЕ}(T_d)} + U_{\text{роп}} - U_{\text{БЕ}(T_{\text{КС}})}, \quad (4)$$

де $U_{\text{БЕ}T_d}$, $U_{\text{БЕ}T_{\text{КС}}}$ – падіння напруги на переходах БЕ транзисторів T_d і $T_{\text{КС}}$;

$U_{\text{роп}}$ – падіння напруги, створюване опорним струмом на резисторі $R_{\text{оп}}$.

Відповідно до першого закону Кірхгофа, отримаємо таке співвідношення:

$$\frac{\beta}{\beta+1} \cdot I_{T_d} = I_p - \left(I_{\text{оп}} + \frac{I_{T_d}}{\beta+1} \right) - \frac{U_{\text{оп}}^*}{(\beta+1) \cdot R_{\text{КС}}}, \quad (5)$$

де β – коефіцієнт посилення базового струму транзистора,

I_{T_d} – струм емітера транзистора T_d .

Звідки знайдемо значення струму I_{T_d} :

$$I_{T_d} = I_p - I_{\text{оп}} - \frac{U_{\text{оп}}^*}{(\beta+1) \cdot R_{\text{КС}}}. \quad (6)$$

Струм I_{T_d} приблизно дорівнює різниці струмів $I_{\text{оп}}$ і I_p . перепишемо вираз (4):

$$U_{OP}^* = \varphi_T \cdot \ln \left(\frac{I_{T_d}}{I_T} \right) + \left(I_{OP} + \frac{I_{T_d}}{\beta + 1} \right) \cdot R_{OP} - \varphi_T \cdot \ln \left(\frac{U_{KC}^*}{I_T \cdot R_{KC}} \right) \quad (7)$$

$$U_{OP}^* = \varphi_T \cdot \ln \left(\frac{(I_P - I_{OP})}{\frac{U_{OP}^*}{R_{KC}}} - \frac{1}{(\beta + 1)} \right) + \left(\frac{I_{OP} \cdot \beta}{\beta + 1} + \frac{I_P}{\beta + 1} - \frac{\frac{U_{OP}^*}{R_{KC}}}{(\beta + 1)^2} \right) \cdot R_{OP} \quad (8)$$

Як видно з формули, доданок, що містить логарифм, обертається на нуль, тобто досягається компенсація температурних змін на $p-n$ переходах транзисторів T_d і T_{KC} , якщо значення струму через резистор R_{KC} приблизно дорівнює різниці струмів I_{OP} і I_P .

Із вищесказаного випливає виконання такої умови:

$$\frac{(I_P - I_{OP})}{\frac{U_{OP}^*}{R_{KC}}} - \frac{1}{(\beta + 1)} = 1 \Rightarrow \frac{U_{OP}^*}{R_{KC}} = (I_P - I_{OP}) \cdot \frac{(\beta + 1)}{(\beta + 2)} \quad (9)$$

Значення вихідного сигналу становитиме:

$$U_{OP}^* = \frac{I_{OP} \cdot (\beta + 1) + I_{KC}}{(\beta + 2)} \cdot R_{OP} \Rightarrow U_{OP}^* \approx I_{OP} \cdot R_{OP} \quad (10)$$

Слід зазначити, що для нормального функціонування джерела опорного струму, вихід формувача U_{OP}^* треба відокремити від навантаження, зокрема, пасивного R_n . Із цією метою застосовується буферний пристрій (БП) (рис. 4 б)). Принципову схему джерела опорного струму з буферним пристроєм зображено на рис. 4 в). Опорний струм задається джерелом струму I_1 (I_{OP}). Вихідна напруга U_{OP}^* формується на виході транзистора T_{11} . Буферний пристрій виконано на транзисторах T_{12} – T_{18} , що зменшує вплив струму навантаження на U_{OP}^* у β^2 -разів. Основний струм навантаження протікає через транзистор T_{18} , у β -разів менший струм буде протікати через транзистор T_{17} і ще у β -разів менший струм – через транзистор T_{14} та резистор регулятор R_2 (R_{KC}).

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Запропоновано новий підхід щодо побудови термостабільних джерел опорного струму на біполярних транзисторах із використанням напруги ширини забороненої зони напівпровідника і струмових дзеркал. Описано принципи функціонування схем і доведено можливість досягнення термокомпенсації. Здійснено комп'ютерне моделювання статичних характеристик запропонованих джерел опорного струму, зокрема, температурного дрейфу струмів.

Запропоновано новий підхід щодо побудови термостабільних джерел опорної напруги на біполярних транзисторах із використанням генераторів термостабільного опорного струму. Отримано відповідні аналітичні вирази, що описують функціонування схем джерел опорної напруги за авторським підходом. Викладено метод підвищення навантажувальної здатності вказаних джерел опорної напруги.

Література

1. Азаров О. Д. Аналого-цифрове порозрядне перетворення на основі надлишкових систем числення з ваговою надлишковістю : монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010. 232 с.
2. Комп'ютерна схемотехніка : підручник / Азаров О. Д., Гарнага В. А., Клятченко Я. М., Тарасенко В. П. Вінниця : ВНТУ, 2018. 230 с.
3. Alan B. Grebene. Bipolar and MOS analog integrated circuit design. New Jersey : John Wiley & Sons Technology & Industrial Arts, 2002. 912 p.
4. R. van der Plassche. CMOS integrated analog-to-digital and digital-to-analog converters. 2nd Edition. – Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003. 588 p.
5. L. T. Harrison. Current Sources & Voltage References. Burlington, USA:Newnes, 2005. 621 p.
6. Азаров О. Д., Гарнага В. А., Обертюх М. Р. Термокомпенсовані двополосні джерела постійного струму кільцевого типу. *Вісник вінницького політехнічного інституту*. Вінниця. ВНТУ, 2017. № 1(130). С.78–84.
7. Азаров О. Д., Гарнага В. А., Обертюх М. Р. Джерело опорної напруги на основі генератора термостабільного струму. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. Вінниця. ВНТУ. 2017. № 1(38). С.41–47.
8. Патент 127377 UA, МПК G05F 1/08, H01L 27/00. Джерело опорної напруги / О. Д. Азаров, С. В. Богомолів, І. О. Душко, А. С. Фігас (Україна). № у 2018 02478; заявл. 12.03.2018 ; опубл. 25.07.2018. Бюл. №14. 4 с. : кресл.
9. Патент 127212 UA, МПК H03K 3/01, G05F 1/10. Двополосне джерело струму / О. Д. Азаров, С. В.

Богомолов, К. В. Поліщук, А. С. Фігас (Україна). № у 2018 00978; заявл. 02.02.2018; опубл. 25.07.2018. Бюл. №14. 5 с. : кресл.

10. Патент 127213 UA, МПК H03K 3/01, G05F 1/10. Двополюсне джерело струму / О. Д. Азаров, С. В. Богомолов, А. М. Щуровська, А. С. Фігас (Україна). № у 2018 00978; заявл. 02.02.2018; опубл. 25.07.2018. Бюл. № 14. 5 с. : кресл.

References

1. Azarov O. D. Analogo-tsyfrove porozriadne peretvorennia na osnovi nadlyshkovykh system chyslennia z vahovoiu nadlyshkovistiu : monohrafiia. Vinnytsia : UNIVERSUM-Vinnytsia, 2010. 232 s.
2. Kompiuterna skhemotekhnika : pidruchnyk / Azarov O. D., Harnaha V. A., Kliatchenko Ya. M., Tarasenko V. P. – Vinnytsia : VNTU, 2018. 230 s.
3. Alan B. Grebene. Bipolar and MOS analog integrated circuit design. New Jersey : John Wiley & Sons Technology & Industrial Arts, 2002. 912 p.
4. R. van der Plassche. CMOS integrated analog-to-digital and digital-to-analog converters. 2nd Edition. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003. 588 p.
5. L. T. Harrison. Current Sources & Voltage References. Burlington, USA : Newnes, 2005. 621 p.
6. Azarov O. D., Harnaha V. A., Obertiukh M. R. Termokompensovani dvopolusni dzherela postiinoho strumu kiltsevoho typu. *Visnyk vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. Vinnytsia. VNTU, 2017. № 1(130). S.78–84.
7. Azarov O. D., Harnaha V. A., Obertiukh M. R. Dzherelo opornoï napruhy na osnovi heneratora termostabilnogo strumu. *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*. Vinnytsia. VNTU, 2017. № 1(38). S. 41–47.
8. Patent 127377 UA, MPK G05F 1/08, H01L 27/00. Dzherelo opornoï napruhy / O. D. Azarov, S. V. Bohomolov, I. O. Dushko, A. S. Fihas (Ukraine). № u 2018 02478; zaiavl. 12.03.2018; opubl. 25.07.2018. Biul. № 14. 4 s. : kresl.
9. Patent 127212 UA, MPK H03K 3/01, G05F 1/10. Dvopolusne dzherelo strumu / O. D. Azarov, S. V. Bohomolov, K. V. Polishchuk, A. S. Fihas (Ukraine). № u 2018 00978; zaiavl. 02.02.2018; opubl. 25.07.2018. Biul. №14. 5 s. : kresl.
10. Patent 127213 UA, MPK H03K 3/01, G05F 1/10. Dvopolusne dzherelo strumu / O. D. Azarov, S. V. Bohomolov, A. M. Shchurovska, A. S. Fihas (Ukraine). № u 2018 00978; zaiavl. 02.02.2018; opubl. 25.07.2018. Biul. № 14. 5 s. : kresl.

Рецензія/Peer review : 13.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

DOI 10.31891/2307-5732-2022-311-4-29-34
УДК 654.672:632

АНТОНЕНКО А. В.

Київський національний університет культури і мистецтв
<https://orcid.org/0000-0001-9397-1209>
e-mail: artem.v.antonenko@gmail.com

БРОВЕНКО Т. В.

Київський національний університет культури і мистецтв
<https://orcid.org/0000-0003-1552-2103>

КРИВОРУЧКО М. Ю.

Державний торговельно-економічний університет
<https://orcid.org/0000-0002-7378-1050>

СТУКАЛЬСЬКА Н. М.

Національний університет харчових технологій
<https://orcid.org/0000-0001-6590-7170>

ТОЛОК Г. А.

Національний університет біоресурсів і природокористування України
<https://orcid.org/0000-0002-2971-1645>

ТОНКИХ О. Г.

Київський національний університет культури і мистецтв
<https://orcid.org/0000-0001-7823-4761>

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАПІВФАБРИКАТІВ ДЛЯ ПІЦЦІ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ХАРЧОВИХ ВОЛОКОН

У статті наведено технологію напівфабрикатів з дріжджового тіста для піци з підвищеним вмістом харчових волокон. Обґрунтовано доцільність використання у розробленій технології біологічно-активної сировини. Встановлено, що використання порошку з яблучних вичавків у складі напівфабрикатів для піци більше 15% від маси борошна є недоцільним, оскільки значно знижує сенсорні показники якості виробів. Використання порошку з яблучних вичавків дозволяє збільшити вміст харчових волокон у складі напівфабрикатів з дріжджового тіста для піци на 9,7% порівняно з контролем, що дозволяє забезпечити добову потребу у них на рівні 22,9%. Показники хімічного складу напівфабрикатів для піци з використанням порошку з яблучних вичавків за окремими показниками поліпшилися порівняно з контролем: вміст вітамінів групи В збільшився на 58,33%, кількість вітаміну РР збільшилася на 63,64%, кількість марганцю збільшилася на 26,32%. Показники хімічного складу піци з помідорами та сиром з використанням порошку з яблучних вичавків за окремими показниками поліпшилися порівняно з контролем: вміст вітамінів групи В1 збільшився на 160%, кількість вітаміну РР збільшилася на 60 %, кількість марганцю збільшилася на 4,53%. Задоволення добової потреби у харчових волокнах при споживанні 100 г розробленої піци збільшується з 4,0 до 23,7%, у калії – з 3,71 до 9,63%, вітаміні В1 – з 2,94 до 7,65%, вітаміні В2 – з 4,0 до 8,0% порівняно з контролем. Розраховано комплексний показник якості напівфабрикатів для піци з використанням порошку з яблучних вичавків, який становить 2,6 од., що на 22,9%, перевищує значення контролю (0,5 од). Соціальний ефект впровадження розробленого напівфабрикату з дріжджового тіста для піци з підвищеним вмістом харчових волокон полягає у розширенні асортименту страв для харчування дорослих та дітей з підвищеним вмістом есенційних нутрієнтів, покращеними споживчими властивостями продукції, що сприятиме збереженню здоров'я населення, захисту організму від негативного впливу навколишнього середовища. Розроблена кулінарна продукція може бути рекомендована для харчування у повсякденних раціонах людей, що працюють на виробництвах важкої промисловості, проживають на екологічно забруднених територіях та всіх верств населення.

Ключові слова: харчова цінність, напівфабрикат піци, харчова технологія, дріжджове тісто, яблучні вичавки, харчові волокна.

Artem ANTONENKO

Kyiv National University of Culture and Arts

Tetiana BROVENKO

Kyiv National University of Culture and Arts

Myroslav KRYVORUCHKO

State University of Trade and Economics

Nataliya STUKALSKA

National University of Food Technology

Galina TOLOK

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Oleksii TONKYKH

Kyiv National University of Culture and Arts

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF SEMI-FINISHED PRODUCTS FOR PIZZA WITH HIGH CONTENT OF DIETARY FIBERS

The article presents the technology of semi-finished products from yeast dough for pizza with high content of dietary fiber. The expediency of using biologically active raw materials in the developed technology is substantiated. It is established that the use of apple pomace powder in the composition of semi-finished products for pizza more than 15% by weight of flour is impractical, as it significantly reduces the sensory quality of products. The use of apple pomace powder allows to increase the content of dietary fiber in the composition of semi-finished products from yeast dough for pizza by 9.7% compared to the control, which allows to meet the daily requirement for them at 22.9%. The chemical composition of pizza semi-finished products using apple pomace powder in some respects improved compared to control: the content of B vitamins increased by 58.33%, the amount of vitamin PP increased by 63.64%, the amount of manganese increased

by 26.32%. The chemical composition of pizza with tomatoes and cheese using apple pomace powder in some respects improved compared to control: the content of B1 vitamins increased by 160%, the amount of vitamin PP increased by 60%, the amount of manganese increased by 4.53%. Satisfaction of daily requirement in dietary fiber at consumption of 100 g of the developed pizza increases from 4.0 to 23.7%, in potassium - from 3.71 to 9.63%, vitamin B1 - from 2.94 to 7.65%, vitamin B2 - from 4.0 to 8.0% compared to control. A comprehensive indicator of the quality of semi-finished pizza products using apple pomace powder, which is 2.6 units, which is 22.9%, exceeds the control value (0.5 units). The social effect of the introduction of the developed semi-finished product from yeast dough for pizza with high dietary fiber content is to expand the range of meals for adults and children with high content of essential nutrients, improved consumer properties, which will help protect the health of the population. environment. Developed culinary products can be recommended for nutrition in the daily diets of people working in heavy industry, living in environmentally contaminated areas and all segments of the population.

Keywords: nutritional value, semi-finished pizza, food technology, yeast dough, apple pomace, dietary fiber.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Для нормальної життєдіяльності людині необхідний повноцінний набір харчових продуктів з врахуванням її індивідуальних особливостей, характеру та інтенсивності праці та умов проживання. Цей набір повинен включати в оптимальному співвідношенні всі необхідні для людини компоненти: білки рослинного та тваринного походження, жири, вуглеводи, вітаміни, мікроелементи тощо. В сучасних раціонах населення України спостерігається дефіцит харчових волокон більше 50% добової потреби, що обумовлює доцільність використання у складі продуктів харчування сировини з високим вмістом харчових волокон [1–4]. Згідно з постулатами теорії адекватного харчування харчові волокна вважали баластними речовинами, у зв'язку з цим їх видалення з харчових продуктів під час технологічної обробки визнавалось доцільним. Таким чином, розроблено технологію переробки зерна на борошно вищого гатунку, шліфування рису, віджиму соку з плодів, різноманітні процеси екстракції. Як наслідок, це призвело до значного зниження вмісту харчових волокон у традиційних раціонах харчування населення [5, 6].

Відомо, що харчові волокна не засвоюються організмом, вони складають єдиний фізіологічно активний комплекс, що забезпечує ряд важливих функцій, з'єднаних з процесами харчування і обміну речовин в цілому.

Клітковина у воді не розчиняється, організмом людини не засвоюється, стимулює кишкову перистальтику і сприяє виведенню з організму шкідливих речовин, у тому числі холестерину. Рослинна клітковина сприяє нормалізації шлункової мікрофлори, пригнічує зростання гнилісних мікроорганізмів, сприяє підтриманню нормального рівня холестерину в крові, покращує роботу кишечника і печінки. З рослинної клітковини у товстій кишці під дією корисних бактерій синтезується низка вітамінів групи В, амінокислот, ферментів та інших поживних речовин. Усі вони сприяють підвищенню імунітету, нормалізації жирового обміну, відіграють важливу роль у запобіганні онкозахворюванням та хворобам серцево-судинної системи, тощо [7–11].

Аналіз досліджень та публікацій

За сучасними рекомендаціями нутриціології норма харчових волокон для людини на добу становить 25–30 г, яку можна забезпечити вживанням нерафінованої рослинної їжі, а також внаслідок споживання харчових продуктів, до складу яких внесено додаткову кількість харчових волокон з дієтичними добавками і продуктами переробки рослинної сировини (оболонки зерна, бобових, шкоринки і вичавки з плодів і овочів).

Формулювання цілей статті

Метою роботи є обґрунтування та розроблення технології напівфабрикатів з дріжджового тіста для піци з використанням порошку з яблучних вичавків.

Об'єкт дослідження – технологія напівфабрикатів з дріжджового тіста для піци з підвищеним вмістом харчових волокон.

Предмет дослідження – порошок з яблучних вичавків «Naturalis», модельні композиції напівфабрикатів з дріжджового тіста для піци з використанням порошку з яблучних вичавків, напівфабрикат з дріжджового тіста для піци з використанням яблучних вичавків. Контролем обрано напівфабрикати з дріжджового тіста, виготовлені за традиційною технологією (№ 1024) [12].

Виклад основного матеріалу

Для визначення раціональної кількості порошку з яблучних вичавків у складі напівфабрикату для піци розроблено модельні композиції дріжджових напівфабрикатів з використанням від 5 до 20% порошку від маси борошна. Проведено попереднє відпрацювання технології напівфабрикатів для піци з дріжджового тіста, здійснено органолептичну оцінку якості дослідних зразків (табл. 1).

Встановлено, що використання порошку з яблучних вичавків у складі напівфабрикатів для піци більше 15% від маси борошна є недоцільним, оскільки значно знижує сенсорні показники якості виробів. При додаванні порошку з яблучних вичавків у кількості 5–15 % колір, смак та запах виробів не змінюються. При цьому колір виробів варіюється від світло-кремового до насичено кремового. Консистенція виробу при додаванні порошку з яблучних вичавків у кількості 5–15 % значно не змінюється. При збільшенні кількості порошку (більше 15% від маси борошна) консистенція дріжджових напівфабрикатів ущільнюється, відчуються сліди непромісу [13, 14].

Таким чином, визначено, що раціональна кількість порошку з яблучних вичавків у складі дріжджових напівфабрикатів – 15% від маси борошна. При цьому загальна органолептична оцінка випечених дріжджових напівфабрикатів знаходиться на рівні контролю (табл. 1). За результатами проведених досліджень розроблено технологію напівфабрикатів для піци з використанням порошку з

яблучних вичавків (рис. 1). Порошок з яблучних вичавків у сухому вигляді змішували з борошном і додавали до напівфабрикатів з дріжджового тіста під час змішування тіста [15–17]. Використання порошку з яблучних вичавків дозволяє збільшити вміст харчових волокон у складі напівфабрикатів з дріжджового тіста для піци на 9,7% порівняно з контролем, що дозволяє забезпечити добову потребу у них на рівні 22,9% (на 100 г) (табл. 2) [18–20].

Показники хімічного складу напівфабрикатів для піци з використанням порошку з яблучних вичавків за окремими показниками поліпшилися порівняно з контролем: вміст вітамінів групи В збільшився на 58,33%, кількість вітаміну РР збільшилася на 63,64%, кількість марганцю збільшився на 26,32% (табл. 2).

Таблиця 1

**Органолептична оцінка напівфабрикатів для піци з дріжджового тіста
з використанням порошку з яблучних вичавків, бали**

Показники якості	Коеф. вагом., од	Контроль	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4
Смак	0,2	4,8	4,9	4,8	4,9	4,9
Запах	0,15	4,9	4,9	4,9	4,9	4,8
Колір	0,2	4,8	4,7	4,8	4,7	4,7
Консистенція	0,25	4,8	4,7	4,8	4,8	4,7
Зовнішній вигляд	0,2	4,9	4,8	4,9	4,9	4,8
Загальна оцінка	1,0	4,9	4,87	4,81	4,78	4,52

* Примітка: дослід 1 – напівфабрикати для піци з використанням 5% порошку з яблучних вичавків (ПЯВ), дослід 2 – напівфабрикати для піци з використанням 10% ПЯВ, дослід 3 – напівфабрикати для піци з використанням 15% ПЯВ, дослід 4 – напівфабрикати для піци з використанням 20% ПЯВ.

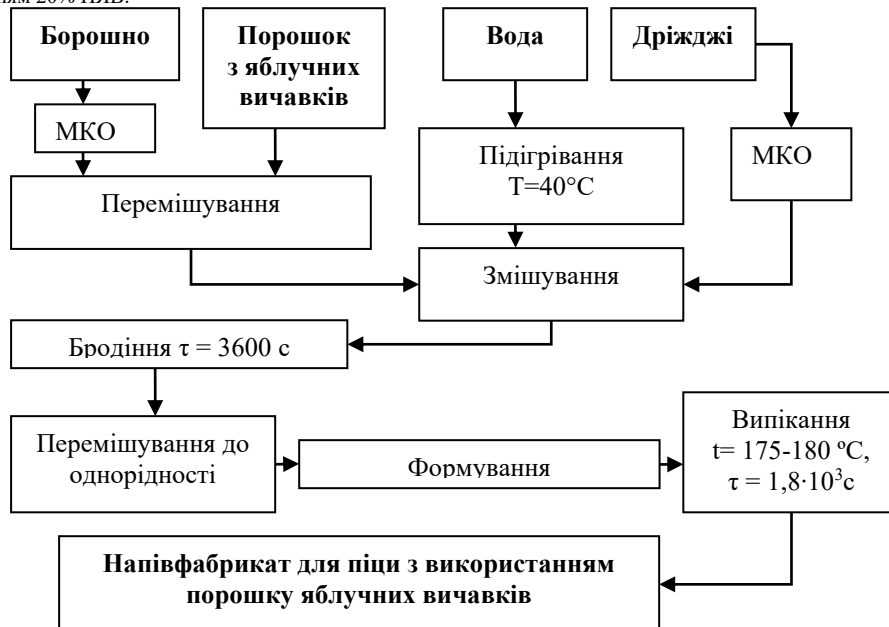


Рис. 1. Технологічна схема приготування напівфабрикатів для піци з додаванням 15% порошку з яблучних вичавків

Таблиця 2

Хімічний склад напівфабрикатів для піци з використанням порошку з яблучних вичавків (на 100 г)

Показники	Контроль	Дослід	Різниця, %
Білки, г	8,80	10,10	14,77
Жири, г	2,20	2,60	18,18
Вуглеводи, г, в т. ч.	50,30	53,70	6,76
- моно- і дисахариди, г	2,0	2,40	20,00
- крохмаль, г	22,0	23,8	8,18
- харчові волокна, г	1,4	4,7	80,77
Мінеральні речовини, мг			
Калій	42,0	44,30	5,48
Кальцій	67,0	68,5	2,24
Магній	9,5	10,3	8,42
Фосфор	105,0	105,50	0,48
Цинк	2,80	2,90	3,57
Марганець	3,0	4,80	26,32
Вітаміни, мг			
Вітамін В1	0,12	0,19	58,33
Вітамін В2	1,2	1,9	58,33
Вітамін Е	7,1	7,1	-
Вітамін РР	1,1	1,8	63,64
Енергетична цінність, ккал	328,70	342,3	4,14

Таблиця 3

Хімічний склад піци з помідорами та сиром з використанням порошку з яблучних вичавків (на 100 г)

Показники	Контроль	Дослід	Різниця, %
Білки, г	4.1	6.3	53.66
Жири, г	17.5	18.3	4.57
Вуглеводи, г, в т. ч.	12.6	15.4	22.22
моно- і дисахариди, г	1.4	1.8	28.57
крохмаль, г	22	23.8	8.18
харчові волокна, г	1.8	6.3	250.00
Мінеральні речовини, мг			
Калій	148.5	385.1	159.33
Кальцій	74	76	2.70
Магній	17.3	64.3	271.50
Фосфор	65.1	65.8	1.08
Цинк	0.4689	0.564	20.28
Марганець	0.2009	0.21	4.53
Вітаміни, мг			
Вітамін В1	0.05	0.13	160.00
Вітамін В2	0.08	0.16	100.00
Вітамін РР	0.5	0.8	60.00
Енергетична цінність, ккал	221.6	236	6.50

Таблиця 4

Забезпечення добової потреби у нутрієнтах при споживанні 100 г піци з використанням яблучних вичавків

Показники	Добова потреба	Забезпечення добової потреби при споживанні 100 г контролю, %	Забезпечення добової потреби при споживанні 100 г дослід, %	Різниця, %
Білки, г	90	4,56	7,0	2,44
Жири, г	110	15,91	16,64	0,73
Вуглеводи, г, в т.ч.	400	3,15	3,85	0,7
моно- і дисахариди, г	50	2,8	3,6	0,8
харчові волокна, г	25	7,2	25,2	18,0
Мінеральні речовини, мг				
Калій	4000	3,71	9,63	5,92
Кальцій	1200	6,17	6,33	0,16
Магній	300	5,77	29,1	23,33
Фосфор	600	10,85	10,97	0,12
Цинк	13	3,61	4,34	0,73
Марганець	3	6,7	7,0	0,3
Вітаміни, мг				
Вітамін В1	1.7	2,94	7,65	4,71
Вітамін В2	2	4,0	8,0	4,0
Вітамін РР	80	0,63	1,0	0,37
Енергетична цінність, ккал	2600	8,52	9,08	0,56

Показники хімічного складу піци з помідорами та сиром з використанням порошку з яблучних вичавків за окремими показниками поліпилися порівняно з контролем: вміст вітамінів групи В1 збільшився на 160%, кількість вітаміну РР збільшилася на 60 %, кількість марганцю збільшилася на 4,53% (табл. 3).

Встановлено, що використання порошку з яблучних вичавків дозволяє збільшити задоволення добової потреби в есенційних нутрієнтах при споживанні 100 г піци. Так, задоволення добової потреби у харчових волокнах при споживанні 100 г розробленої піци збільшується з 4.0 до 23,7%, у калії – з 3,71 до 9,63%, вітаміні В1 – з 2,94 до 7,65%, вітаміні В2 – з 4,0 до 8,0% порівняно з контролем (табл. 4).

Розраховано комплексний показник якості напівфабрикатів для піци з використанням порошку з яблучних вичавків, який становить 2,6 од., що на 22,9%, перевищує значення контролю (0,5 од).

Побудовано модель якості напівфабрикатів для піци з використанням порошку з яблучних вичавків за такими показниками: вміст харчових волокон, вітамінів групи В, сума мінеральних речовин, органолептична оцінка (рис. 2).

Таблиця 5

Вихідні дані для розрахунку комплексного показника якості напівфабрикатів для піци з використанням порошку з яблучних вичавків

Показники	Контроль	Дослід
Харчові волокна, г	1.8	6.3
Сума мінеральних речовин, мг	305.57	614.97
Енергетична цінність, ккал	221.6	236
Сума вітамінів (В1, В2, РР), мг	0.63	1.09
Органолептична оцінка, бали	4.9	4.78
Комплексний показник якості, од.	0.227	0.404

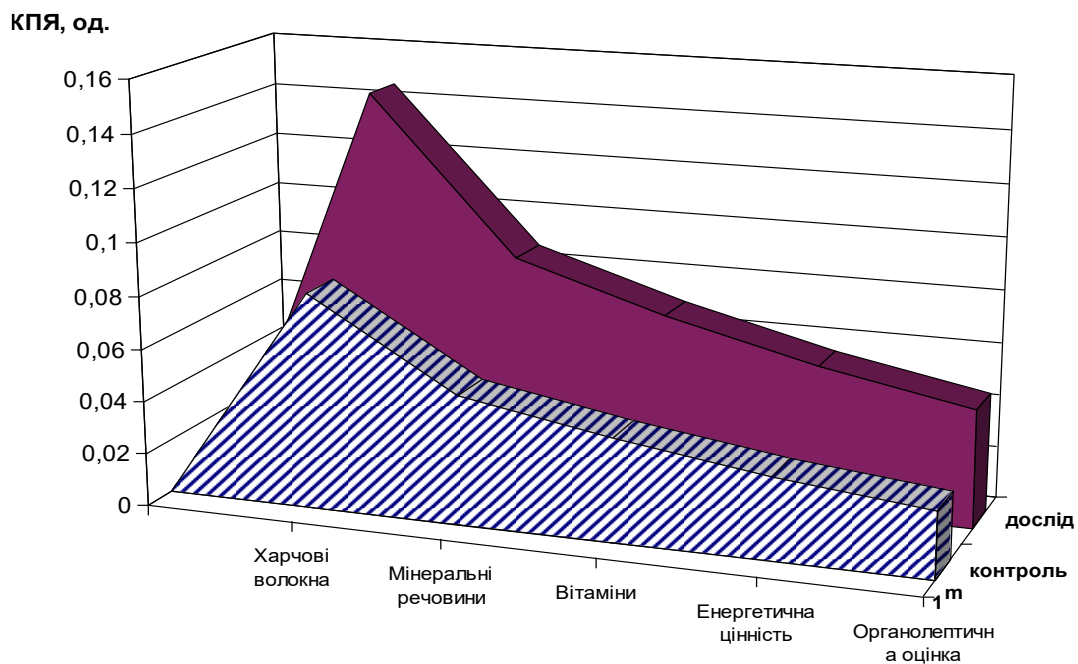


Рис. 2. Модель якості напівфабрикатів для піци з дріжджового тіста з використанням порошку з яблучних вичавків

Встановлено, що якість розроблених виробів перевищує контроль внаслідок підвищення вмісту харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин, зниження енергетичної цінності. За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що розроблені вироби з використанням порошку з яблучних вичавків мають високу органолептичну оцінку, підвищений вміст харчових волокон, вітамінів групи В, мінеральних речовин. Таким чином, розроблена технологія напівфабрикатів для піци дозволяє отримувати асортимент піци з підвищеним вмістом харчових волокон та інших есенціальних речовин.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що розроблений десерт має підвищений вміст білків, харчових волокон, вітамінів та мінеральних речовин у порівнянні з традиційною технологією. Експериментально підтверджено оптимальне співвідношення компонентів у рецептурі розробленого десерту "Пташине молоко". За органолептичними показниками дослідний зразок відповідає за якістю встановленими нормам. Соціальний ефект впровадження розробленого десерту з низькоестерифікованим пектином, цитратом кальцію та полідекстрозою полягає у розширенні асортименту страв для харчування дорослих та дітей з підвищеним вмістом есенціальних нутрієнтів, покращеними споживчими властивостями продукції, що сприятиме збереженню здоров'я населення, захисту організму від негативного впливу навколишнього середовища. Розроблена кулінарна продукція може бути рекомендована для харчування у повсякденних раціонах людей, що працюють на виробництвах важкої промисловості, проживають на екологічно забруднених територіях та всіх верств населення.

Література

1. Мазаракі А.А. Технологія харчових продуктів функціонального призначення. Київ : КНТЕУ. 2012. 1116 с.
2. Львович И.Я. Перспективные тренды развития науки: техника и технологии. Одеса : КУПРИЕНКО СВ. 2016. 197 с.
3. Корзун В. Н., Гаркуша С. Л. Заходи профілактики та лікування метаболічного синдрому у населення. Довкілля та здоров'я. 2016. № 1. С. 9–13
4. Черевко О.І. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення. Харків : ХДУХТ. 2017. 591 с.

5. Yatsenko V.M. Financial-economic and innovative support of entrepreneurship development in the spheres of economy, tourism and hotel-restaurant business. Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom. 2017. 619 p.
6. Русавська В.А. Теоретико-практичні підходи до ефективного функціонування ринку готельно-ресторанних послуг: стан, проблеми, тенденції. Київ : Лира. 2018. 420 с.
7. Преображенский А.П. Уровень развития техники и технологии в XXI веке. Одеса : КУПРИЕНКО С.В. 2019. 227 с.
8. Гамаюнова В.В. Инновационные технологии в жизни современного человека. Одесса : КУПРИЕНКО С.В. 2020. 209 с.
9. Brovenko T. Food design as the actual direction of the interdisciplinary researches. Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв: наук. журнал, 2018. № 2. С. 91–94.
10. Земліна Ю.В. Технологія борошняних страв на основі нетрадиційної сировини. Науковий журнал «Вчені записки» ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки». Том 30 (69). 2019. № 4. С. 77–82.
11. Криворучко М.Ю. Структурно-механічні властивості прісного тіста з борошна пророщеного зерна пшениці. Міжнар. наук.-практ. журн. «Товари і ринки». 2012. № 1. С. 82–88.
12. Мазаракі А.А. Збірник рецептур кулінарної продукції і напоїв функціонального призначення. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. 772 с.
13. Химический состав российских пищевых продуктов : справочник ; под. ред. И.М. Скурихина и В.А. Тутельяна. М. : ДеЛи принт, 2002. 236 с.
14. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Москва : Экономика, 1982. 495 с.
15. Михайлик В.С. Технологія та якість печива зі шротами олійних культур. Харчова наука і технологія: науково-виробничий журнал. 2016. № 1. С. 72–77.
16. Кравченко М.Ф., Криворучко М.Ю. Структурно-механічні властивості прісного тіста з борошна пророщеного зерна пшениці. Товари і ринки : міжнародний науково-практичний журнал. 2012. № 1. С. 82–88.
17. Антоненко А.В. Борошно з пророщеного зерна вівса як основа для борошняних кондитерських виробів. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2014. № 46 (1). С. 149–153.
18. Журавська А.А. Новітні технології кондитерських виробів підвищеної харчової цінності. Научные труды SWorld. 2013. № 1. С. 73–77.
19. Довга О.О., Ліфіренко О.С. Удосконалення технології борошняних кулінарних виробів для харчування дітей. Научный взгляд в будущее : международное периодическое научное издание. 2016. № 3. С. 4–11.

References

1. Mazaraki A.A. Tekhnolohiia kharchovykh produktiv funktsionalnoho pryznachennia. Kyiv : KNTEU. 2012. 1116 с.
2. L'vovich I.Ia. Perspektivnye trendy razvitiia nauki: tekhnika i tehnologii. Odessa : KUPRIENKO SV. 2016. 197 s.
3. Korzun V. N., Harkusha S. L. Zakhody profilaktyky ta likuvannia metabolichnoho syndromu u naselennia. Dovkillia ta zdorovia. 2016. № 1. S. 9–13
4. Cherevko O.I. Innovatsiini tekhnolohii kharchovoi produktiv funktsionalnoho pryznachennia. Kharkiv : KhDUKht. 2017. 591 с.
5. Yatsenko V.M. Financial-economic and innovative support of entrepreneurship development in the spheres of economy, tourism and hotel-restaurant business. Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom. 2017. 619 p.
6. Rusavska V.A. Teoretyko-praktychni pidkhody do efektyvnoho funktsionuvannia rynku hotelno-restorannykh posluh: stan, problemy, tendentsii. Kyiv : Lira. 2018. 420 с.
7. Preobrazhenskij A.P. Uroven' razvitiia tekhniki i tehnologii v XXI veke. Odessa : KUPRIENKO S.V. 2019. 227 с.
8. Gamajunova V.V. Innovatsionnye tehnologii v zhizni sovremennogo cheloveka. Odessa : KUPRIENKO SV. 2020. 209 s.
9. Brovenko T. Food design as the actual direction of the interdisciplinary researches. Visnyk Natsionalnoi akademii kerivnykh kadrov kultury i mystetstv: nauk. zhurnal, 2018. № 2. S. 91–94.
10. Zemlina Yu.V. Tekhnolohiia boroshnianykh strav na osnovi netradytsiinoi syrovyny. Naukovyi zhurnal «Vcheni zapysky» TNU im. V.I. Vernadskoho. Seriya «Tekhnichni nauky». Tom 30 (69). 2019. № 4. S. 77–82.
11. Kryvoruchko M.Iu. Strukturno-mekhanichni vlastyvoli prisnoho tista z boroshna proroshchenoho zerna pshenytsi. Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. «Tovary i rynky». 2012. № 1. S. 82–88.
12. Mazaraki A.A. Zbirnyk retseptur kulinarnoi produktiv i napoiv funktsionalnoho pryznachennia. Kyiv : Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t, 2013. 772 s.
13. Himicheskij sostav rossijskikh pishhevyykh produktov : spravochnik ; pod. red. I.M. Skurikhina i V.A. Tutel'jana. M. : DeLi print, 2002. 236 s.
14. Sbornik receptur bljud i kulinarynykh izdelij dlja predpriyatij obshchestvennogo pitaniia. Moskva : Jekonomika, 1982. 495 s.
15. Mykhailik V.S. Tekhnolohiia ta yakist pechiva zi shrotamy oliinykh kultur. Kharchova nauka i tekhnolohiia: naukovovo-vyrobnychiy zhurnal. 2016. № 1. S. 72–77.
16. Kravchenko M.F., Kryvoruchko M.Iu. Strukturno-mekhanichni vlastyvoli prisnoho tista z boroshna proroshchenoho zerna pshenytsi. Tovary i rynky : mizhnarodnyi naukovovo-praktychnyi zhurnal. 2012. № 1. S. 82–88.
17. Antonenko A.V. Boroshno z proroshchenoho zerna vivsya yak osnova dlja boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv. Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii. 2014. № 46 (1). S. 149–153.
18. Zhuravska A.A. Novitni tekhnolohii kondyterskykh vyrobiv pidvyshchenoi kharchovoi tsinnosti. Nauchnye trudy SWorld. 2013. № 1. S. 73–77.
19. Dovha O.O., Lifirenko O.S. Udoshkonalennia tekhnolohii boroshnianykh kulinarynykh vyrobiv dlja kharchuvannia ditei. Nauchnyi vzghliad v budushchee : mezhdunarodnoe peryodycheskoe nauchnoe yzdanye. 2016. № 3. S. 4–11.

Рецензія/Peer review : 08.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

Tatyana ASAULYUK

<https://orcid.org/0000-0001-5961-6895>e-mail: tatisevna@gmail.com

Kherson National Technical University

Yulia SARIBYEKOVA

<https://orcid.org/0000-0001-6430-6509>e-mail: ysaribyeikova@gmail.com

Kherson National Technical University

Olga SEMESHKO

<https://orcid.org/0000-0002-8309-5273>e-mail: olgaya@gmail.com

Kherson National Technical University

Irina KULISH

<https://orcid.org/0000-0002-0961-5904>e-mail: kulish.in.411@gmail.com

Kherson National Technical University

SYNTHESIS AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF ZNO NANOPARTICLES

In the present work, zinc oxide (ZnO) nanoparticles were synthesized by direct precipitation method in aqueous solution using zinc acetate dihydrate and sodium hydroxide as precursors. The molar ratio of Zn^{2+} to OH^- was 1:2. The obtained precipitated compound was treated at different temperatures. The crystal phase and structural parameters of each prepared ZnO samples such as interplanar spacing, crystallite size, dislocation density, micro strain were determined by X-ray diffraction (XRD) analysis for different crystallographic planes. Other crystallite parameters such as lattice constants, unit cell volume, Zn–O bond length, crystallinity of synthesized ZnO samples also were calculated from the XRD data. The XRD patterns show the successfully synthesized ZnO phase with wurtzite hexagonal structure and average crystallite sizes of 24.6 nm, 25.6 nm and 28.1 nm for the samples that dried at room temperature without heat treatment (S1), dried at 60°C without calcination (S2), dried at 60°C and calcinated at 300°C in air atmosphere for 2 hours (S3) respectively. The calculated structural parameters of the synthesized ZnO nanoparticles are in good agreement with the standard reported data (JCPDS 36-1451). The effect of heat treatment on the structural parameters of synthesized ZnO nanoparticles was examined and it indicates that increasing the thermal decomposition temperature improves the quality of crystalline material. The XRD data show that the synthesized S3 sample was free of impurities and characterized by lattice constants $a = 3.252 \text{ \AA}$, $c = 5.210 \text{ \AA}$, unit cell volume $V = 47.703 \text{ \AA}^3$, bond length Zn–O = 1.9789 Å and crystallinity 93%. The results are of practical value for simple synthesis of highly dispersed forms of ZnO and its possible application in textile finishing.

Keywords: ZnO, nanoparticles, precipitation, structure, XRD.

АСАУЛЮК Т. С., САРИБЕКОВА Ю.Г., СЕМЕШКО О.Я., КУЛІШ І.М.

Херсонський національний технічний університет

СИНТЕЗ І СТРУКТУРНА ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОЧАСТИНОК ZNO

У даній роботі наночастинки цинку оксиду (ZnO) синтезовані методом прямого осадження у водному розчині з використанням цинку ацетату дигідрату і натрію гідроксиду як прекурсорів. Молярне співвідношення Zn^{2+} до OH^- складало 1:2. Отриманий осад обробляли при різних температурах. Кристалічну фазу і структурні параметри кожного отриманого зразка, такі як міжплосинна відстань, розмір кристалітів, щільність дислокацій, мікронапруження, визначали за допомогою рентгеноструктурного аналізу (XRD) для різних кристаліграфічних площин. Інші параметри кристаліту, такі як константи решітки, об'єм елементарної комірки, довжина зв'язку Zn–O, кристалічність синтезованих зразків ZnO, також розраховували за даними XRD. Рентгенограми демонструють успішно синтезовану фазу ZnO з гексагональною структурою вюрциту і середніми розмірами кристалітів 24,6 нм, 25,6 нм і 28,1 нм для зразків, висушених при кімнатній температурі без термообробки (S1), висушених при 60°C без прожарювання (S2), висушених при 60°C і оброблених при 300°C в атмосфері повітря протягом 2 год (S3), відповідно. Розраховані структурні параметри синтезованих наночастинок ZnO добре узгоджуються зі стандартними звітними даними (JCPDS 36-1451). Досліджено вплив термічної обробки на структурні параметри синтезованих наночастинок ZnO, який свідчить про те, що підвищення температури термічного розкладу покращує якість кристалічного матеріалу. Дані XRD показують, що синтезований зразок S3 не містить домішок і характеризується параметрами решітки $a = 3.252 \text{ \AA}$, $c = 5.210 \text{ \AA}$, об'ємом елементарної комірки $V = 47.703 \text{ \AA}^3$, довжиною зв'язку Zn–O = 1.9789 Å і кристалічністю 93%. Результати мають практичне значення для простого синтезу високодispersних форм ZnO і їх можливого застосування в опорядженні текстилю.

Ключові слова: ZnO, наночастинки, осадження, структура, XRD.

Introduction

ZnO nanoparticles are semiconductor materials, which have been widespread used due to their unique physical and chemical properties, such as surface effect, quantum size effect and macroscopic quantum effect [1].

The application of ZnO nanoparticles to textile has attracted extensive attentions due to the advantages of ZnO nanoparticles, such as UV-shielding, antibacterial activity, biocompatible, biodegradable and biosafety for environmental applications.

Emerging studies on functionalized cotton fibers modified with ZnO nanoparticles expanded the use of cotton fabrics for various applications, such as conductive [2], magnetic [3], photocatalytic [4], antimicrobial [5, 6], super hydrophobic [7] and fire retardant [8, 9] textiles.

Several in situ or ex situ approaches have been introduced for the incorporation of nanoparticles into textile fibers, in which the nanoparticles are synthesized in the presence of the fibers (in situ) or beforehand (ex situ) and then applied to the fibers [10].

Several ZnO synthesis routes have been described in the literature with different morphologies and excellent characteristics, including chemical precipitation [11], solvothermal [12], sol-gel processing [13], thermal decomposition [14], microwave irradiation [15], chemical bath deposition [16], dip coating [17], spin coating [18], electrical deposition [17], and hydrothermal processing [19]. Among these methods, chemical precipitation provides a practical way for low cost and large-scale production, which does not need expensive raw materials and is expected to realize industrialization.

During the synthesis of nanoparticles, it should be taken into account that the growth and the morphology of nano-ZnO are strongly affected by precursors concentration, pH of synthesis mixture, synthesis temperature, reaction time and heat treatment.

In a number of recent works, which consider the preparation of ZnO nanoforms, various temperature ranges of precursors decomposition are indicated. Typically, low-temperature synthesis methods are more time consuming. In [20] described the synthesis ZnO nanoparticles with an average crystallite size of 16 nm by direct precipitation method at room temperature during 4 hrs followed by drying at 60°C without calcination. Romadhan and Suyatma [21] compared the structure and morphology of ZnO nanoparticles synthesized at three levels of temperatures (60°C, 80°C and 100°C) without or with calcinations (500°C). The results showed that preparation of ZnO nanoparticles by using heating at 80°C followed with calcinations at 500°C produced the smallest size (44 nm). As already stated [22, 23], calcination also influences the structure of the sample formed in terms of morphology. It was shown that the nanopowder agglomerated to form larger particle sizes at the calcination temperature higher than 500°C. In addition, the rate of subsequent crystallization, as well as the properties of the obtained ZnO nanoparticles, depend not only on the conditions of synthesis, but also on the nature of the salt from the solution of which precipitation is carried out. Barabaszová and Hundáková [24] showed that the nanoparticles morphology, crystallite size and particle size as well as pH of the reactions and subsequently ξ -potential values are mainly depending on the type of Zn-precursor (zinc chloride and zinc acetate) used. In the work of Bekele and Berhanu [25] ZnO nanoparticles were synthesized from zinc acetate dehydrate, zinc sulphate heptahydrate and zinc nitrate hexahydrate as precursors with sodium hydroxide and polyvinyl alcohol at the same temperatures of synthesis, drying and calcination at 90°C, 150°C and 400°C, respectively. The XRD results showed that the synthesized nanoparticles have wurtzite hexagonal structure with the average particle size of 44 nm, 42 nm, 30 nm from zinc nitrate hexahydrate and polyvinyl alcohol concentration, zinc acetate and sodium hydroxide, zinc sulphate heptahydrate and sodium hydroxide samples respectively.

In modern conditions, it is economically viable to develop technologies that can reduce the cost of chemical materials and energy resources. Thus, it is of interest to study a simple method for the synthesis of ZnO nanoparticles with good crystallinity at low temperatures.

The purpose of present work is the synthesis and characterization of ZnO nanoparticles that are suitable for textile finishing. A simple precipitation method was used to prepare the ZnO nanoparticles in aqueous solution at low temperature in a short time. The influence of the synthesis conditions, namely, the thermal decomposition temperature, on the structural parameters of nano-ZnO was studied using the X-ray diffraction analysis.

Materials and methods

Zinc acetate ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and sodium hydroxide (NaOH) were of analytical grade and used in this work as precursors without further purification.

ZnO nanoparticles were synthesized by direct precipitation method in aqueous solution. The molar ratio of Zn^{2+} to OH^- was 1:2. Alkali solution added drop wise into salt solution under vigorous stirring, which resulted in the formation of a white suspension. The reaction was allowed to proceed at 70°C for 2 hours to complete growth of nanoparticles. The resulting suspension was separated by centrifugation. The obtained white precipitate was washed three times in distilled water and two times in ethanol to remove any impurities or possible absorbed ions. Subsequently, the washed precipitate was divided into three parts, labeled S1, S2 and S3 samples. Then S1 sample was dried at room temperature without heat treatment, S2 sample was dried in an oven in air atmosphere at 60°C without calcination, S3 sample was dried at 60°C followed by calcination at 300°C for 2 hours.

The crystal phase and structural parameters of the synthesized ZnO nanoparticles were determined by powder X-ray diffraction (Bruker D8 ADVANCE, Germany, $\text{CuK}\alpha$ radiation). The peaks of the X-ray diffraction patterns were compared with the standard available data for the confirmation of the structure.

The processing of experimental results was carried out using Origin 2021b and Excel 2019 software.

Results and discussion

X-ray diffraction (XRD) is a simple and effective method for studying crystalline substances. The electrons of crystal atoms are responsible for the scattering of X-rays entering the crystal. The intensity of the diffraction scattering maxima is determined by the density of electrons in the atoms of those crystal planes from which scattering occurs. Analysis the profiles of diffraction peaks makes it possible to determine the distance between the crystal planes, the degree of their filling with atoms, the dimensions of the unit cell, and to get a complete picture of the crystal structure.

The powder XRD patterns of the ZnO samples S1, S2 and S3 synthesized at different decomposition temperatures are shown in Fig. 1.

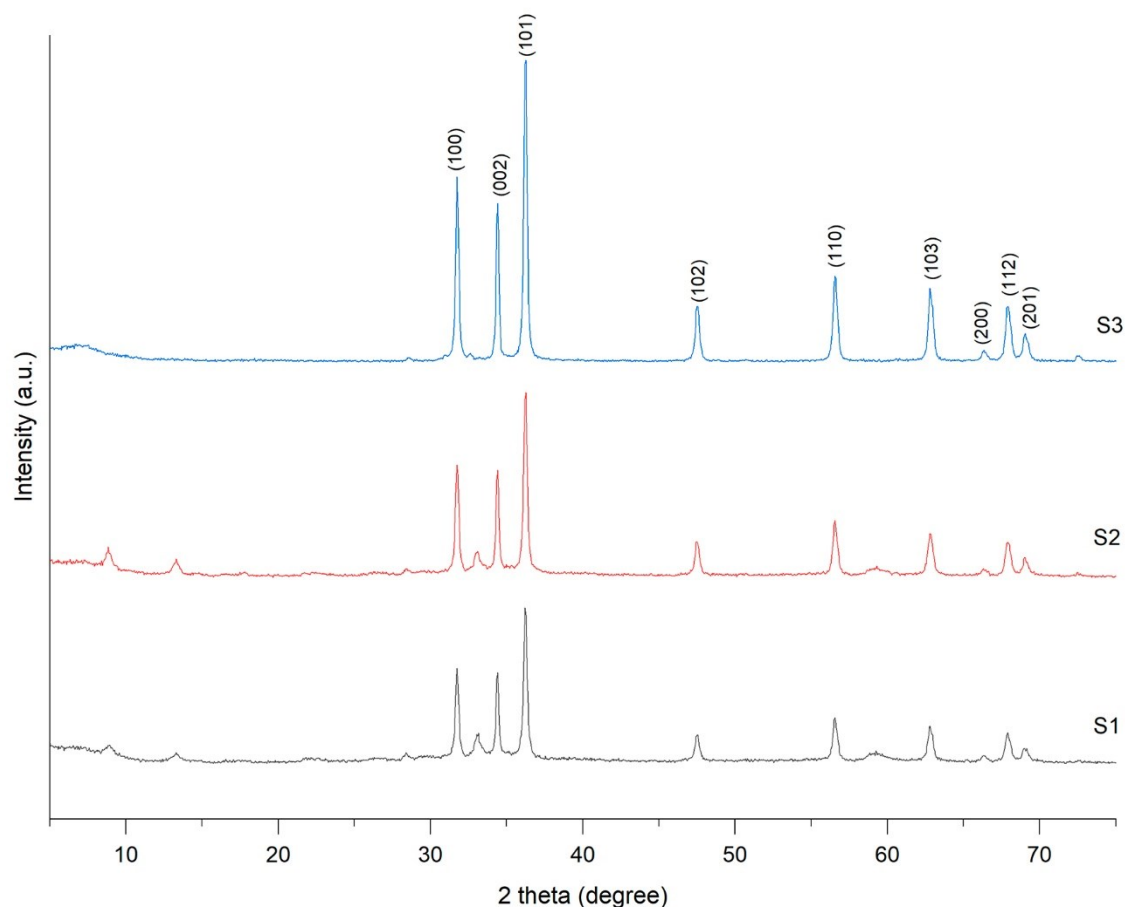


Fig. 1. XRD patterns of synthesized ZnO samples

The appearance of diffraction peaks (Fig. 1) corresponding to the reflection from (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112) and (201) crystal planes is consistent with the standard XRD peaks of bulk ZnO reported in JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) card number: 36-1451 and indicates the formation of ZnO with hexagonal wurtzite structure.

Shifts of the diffraction peaks positions are very small and quite consistent with that of JCPDS data (Table 1). It is obvious that the width and intensity of the diffraction peaks changed with increasing thermal decomposition temperature of precipitate. The peak broadening of the diffraction pattern is mainly due to four factors: microstrains (deformations of the lattice), faulting (extended defects), crystalline domain size and domain size distribution [20]. If we assume that the analyzed fine ZnO samples are free of strains and faulting, the peak broadening is only due to the crystalline domain size. Thus, definite peaks broadening in the XRD patterns indicates that small nanocrystals are present in the synthesized ZnO samples. The reduction in peaks width in XRD patterns with an increase in the decomposition temperature indicates an increase in the crystallites size. The observed sharper diffraction peaks of the S3 sample, due to the increase in intensity, indicate the enhancement ZnO particles crystallinity with increasing decomposition temperature. Further the synthesized S3 sample was free of impurities as no additional peaks associated with any other phase or impurity were observed apart from the characteristic peaks of ZnO.

The crystallite sizes of synthesized ZnO samples were estimated from XRD data using the Scherrer's formula (1) [26]:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}, \quad (1)$$

where D is the crystallite size, K is Scherrer's constant (0.89), λ is the X-ray wavelength (0.15406 nm), θ is the Bragg diffraction angle, and β is the full width at half maximum (FWHM) of the diffraction peak. For the calculation we fitted the diffraction peaks with Gauss function. The crystallite size is assumed to be the size of a coherently diffracting domain and it is not necessarily the same as particle size.

The dislocation density (δ), which represents the number of defects in the sample is defined as the length of dislocation lines per unit volume of the crystal and was calculated from the crystallite size (D) using the relation (2):

$$\delta = \frac{1}{D^2}. \quad (2)$$

Micro strain is defined as the root mean square of variations in the lattice parameters across the sample. The micro strain itself depends on the non-uniform lattice distortions, faulting, dislocations, antiphase domain boundaries, and grain surface relaxation. The micro strain value (ε) for synthesized ZnO samples was calculated from XRD data using the formula (3):

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4 \tan \theta}. \quad (3)$$

Interplanar spacing (d_{hkl}), which is the perpendicular distance between two successive crystallographic planes formed by the individual cells in a lattice structure, was calculated for different observed (hkl) planes from the Bragg's equation (4):

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta, \quad (4)$$

where n is the diffraction order ($n = 1$).

All the calculated parameters for different crystallographic planes of each synthesized ZnO sample in comparison with standard data (JCPDS 36-1451) as well as the variation of the FWHM of various diffraction peaks are summarized in Table 1.

Table 1

Structural parameters of synthesized ZnO samples from XRD data for corresponding (hkl) planes

Structural parameters of synthesized ZnO samples from ATR data for corresponding (hkl) planes									
No.	(hkl) planes	2θ (degree)		Interplanar spacing, d _{hkl} (Å)		FWHM (degree)	Crystallite size, D _{hkl} (nm)	Dislocation density, δ×10 ⁻³ (nm ⁻²)	Micro strain, ε×10 ⁻³
		Standard (JCPDS 36-1451)	Synthesized	Standard (JCPDS 36-1451)	Synthesized				
S1									
1	100	31.770	31.740	2.8143	2.8169	0.28998	28.165	1.261	4.451
2	002	34.422	34.389	2.6033	2.6057	0.24153	34.048	0.863	3.406
3	101	36.253	36.226	2.4759	2.4777	0.30124	27.439	1.328	4.018
4	102	47.539	47.506	1.9111	1.9124	0.33595	25.549	1.532	3.331
5	110	56.603	56.562	1.6247	1.6258	0.37665	23.685	1.783	3.055
6	103	62.864	62.821	1.4771	1.4780	0.39651	23.215	1.856	2.833
7	200	66.378	66.354	1.4071	1.4076	0.43248	21.703	2.123	2.886
8	112	67.961	67.914	1.3782	1.3790	0.46316	20.450	2.391	3.001
9	201	69.100	69.045	1.3582	1.3592	0.56812	16.784	3.550	3.604
S2									
1	100	31.770	31.742	2.8143	2.8168	0.27552	29.643	1.138	4.228
2	002	34.422	34.392	2.6033	2.6056	0.22833	36.016	0.771	3.219
3	101	36.253	36.230	2.4759	2.4774	0.29195	28.312	1.248	3.894
4	102	47.539	47.510	1.9111	1.9122	0.32735	26.220	1.455	3.245
5	110	56.603	56.565	1.6247	1.6257	0.36274	24.593	1.653	2.942
6	103	62.864	62.823	1.4771	1.4780	0.42453	21.683	2.127	3.033
7	200	66.378	66.354	1.4071	1.4076	0.44090	21.288	2.207	2.942
8	112	67.961	67.923	1.3782	1.3789	0.43231	21.910	2.083	2.801
9	201	69.100	69.056	1.3582	1.3590	0.46151	20.662	2.342	2.927
S3									
1	100	31.770	31.751	2.8143	2.8160	0.26181	31.196	1.028	4.017
2	002	34.422	34.399	2.6033	2.6050	0.22699	36.230	0.762	3.200
3	101	36.253	36.232	2.4759	2.4773	0.27377	30.192	1.097	3.651
4	102	47.539	47.524	1.9111	1.9117	0.31088	27.611	1.312	3.081
5	110	56.603	56.575	1.6247	1.6255	0.34447	25.899	1.491	2.793
6	103	62.864	62.843	1.4771	1.4776	0.37364	24.639	1.647	2.669
7	200	66.378	66.354	1.4071	1.4076	0.30998	30.280	1.091	2.069
8	112	67.961	67.932	1.3782	1.3787	0.39906	23.736	1.775	2.585
9	201	69.100	69.070	1.3582	1.3588	0.40643	23.464	1.816	2.577

It was established that the calculated sizes of crystallites of all synthesized ZnO samples are in the nanosize range (Table 1). Depending on the decomposition temperature of precipitate, the average crystallite size changes in the series $S1 < S2 < S3$ and amounts to 24.560, 25.592 and 28.139 nm, respectively.

An analysis of the obtained values of the interplanar distance (d_{hkl}) for various observed (hkl) planes (Table 1) shows that for all studied ZnO samples, the calculated and standard values of d_{hkl} differ insignificantly. The slight difference may be due to the presence of deformation in the crystals.

It was found that the dislocation density of synthesized ZnO samples is very low (Table 1). The change in the values of this index for different crystallographic planes is associated with the anisotropy of crystal growth. The

lowest values of the dislocation density, as well as micro strain of the crystal lattice, are observed for sample S3, which indicates the formation of a good quality crystalline material.

To evaluate the quality of the obtained nanocrystalline materials, it is also necessary to determine the crystal lattice parameters of the ZnO samples.

The wurtzite structure of ZnO (Fig. 2) can be considered to be composed of two interpenetrating hexagonal close packed (HCP) sublattices of Zn^{2+} cation and O^{2-} anion displaced relative to each other along direction c by length u .

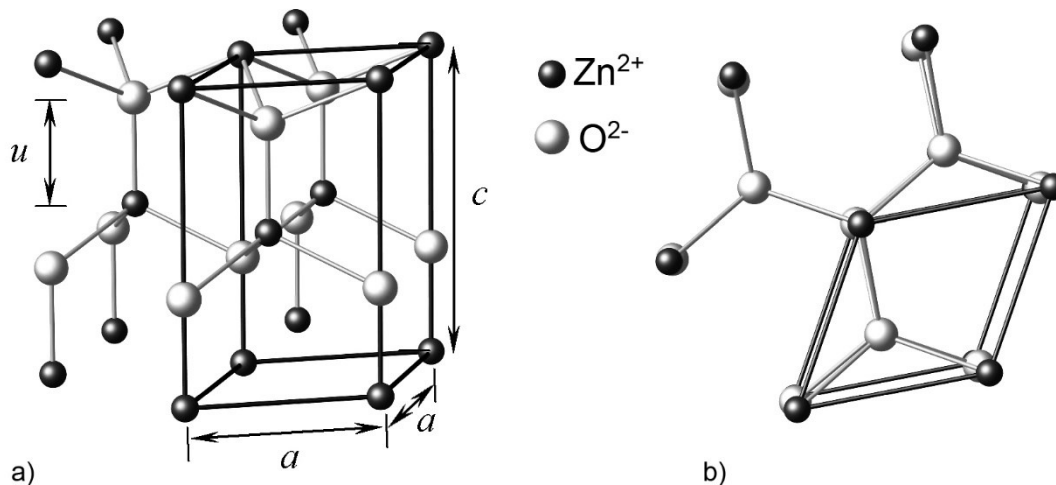


Fig. 2. Hexagonal structure of wurtzite ZnO:
a) – projection perpendicular to direction c ; b) – projection along direction c .

As seen in Fig. 2, in the crystal lattice of ZnO, layers of zinc ions alternate along the direction c with layers of oxygen ions. Each Zn^{2+} cation is surrounded by four O^{2-} anions located at the vertices of a tetrahedron (similarly, each anionic site is surrounded by a tetrahedral environment of four cationic sites).

The lattice parameters in the ZnO hexagonal structure were estimated using the equation (5), which relates the interplanar spacing (d_{hkl}) to the lattice constants a , c and the Miller indices h , k , l :

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + k^2 + hk}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}. \quad (5)$$

The volume of the wurtzite unit cell (V) is expressed as (6):

$$V = \frac{\sqrt{3}}{2} (a^2 c). \quad (6)$$

The Zn–O bond length (L) is calculated by (7):

$$L = \sqrt{\frac{a^2}{3} + \left(\frac{1}{2} - u \right)^2 c^2}; u = \left[\frac{1}{3} \left(\frac{a}{c} \right)^2 + 0.25 \right], \quad (7)$$

where u is the positional parameter in the wurtzite structure and is a measure of the amount by which each atom is displaced with respect to the next along the c -axis.

The crystallinity of the synthesized ZnO samples was determined according to XRD data from the ratio of the crystalline regions area to the total area of amorphous and crystalline regions.

The calculated lattice parameters of synthesized ZnO samples in comparison with standard unit cell data (JCPDS 36-1451), average crystallite sizes and crystallinity are summarized in Table 2.

Table 2

General crystallite parameters of synthesized ZnO samples calculated from the XRD data

Sample	Average crystallite size, D (nm)	Lattice constant			Unit cell volume (\AA^3)	Bond length Zn–O (\AA)	Crystallinity (%)
		a (\AA)	c (\AA)	c/a (\AA)			
Standard (JCPDS 36-1451)	–	3.250	5.207	1.6020	47.630	–	–
Synthesized	S1	24.560	3.253	5.211	1.6022	47.749	1.9796
	S2	25.592	3.253	5.211	1.6022	47.743	1.9795
	S3	28.139	3.252	5.210	1.6023	47.703	1.9789

The calculated lattice parameters of the synthesized ZnO samples (Table 2) are in good agreement with the standard reported data (JCPDS 36-1451). The observed deviations in the values of the lattice constants can be caused by a slight change in the peaks position due to the defect. The lattice constants $a = 3.252 \text{ \AA}$, $c = 5.210 \text{ \AA}$ and the unit cell volume $V = 47.703 \text{ \AA}^3$ closest to the standard correspond to sample S3. The calculated Zn–O bond length in the unit cell of sample S3 is 1.9789 \AA . The crystallinity of the synthesized ZnO powder increases from 85.85 and 84.24% for samples S1 and S2 to 93.02% for sample S3 after calcination.

The results of the present study show that the formation of a pure ZnO phase in a wurtzite hexagonal structure with high quality of crystalline material and average crystallite size of 28 nm can be obtained from zinc acetate and sodium hydroxide as precursors at a synthesis temperature of 70°C , a drying temperature of 60°C , and a calcination temperature of 300°C .

Conclusions

The ZnO nanoparticles were synthesized successfully by direct precipitation method under different conditions. The ZnO phase formation was confirmed by XRD analysis. The XRD results show that the ZnO nanoparticles were formed in a wurtzite hexagonal structure with average crystallite size of $24.6 - 28.1 \text{ nm}$. The calculated structural parameters of the synthesized ZnO nanoparticles are in good agreement with the standard reported data (JCPDS 36-1451). The study of influence of the precipitate treatment temperature on the structure of crystalline material shows that calcination at 300°C (S3 sample) makes it possible to obtain ZnO nanoparticles free from impurities with a crystallinity of 93%. The results confirm the high quality of the synthesized ZnO nanoparticles, which make them suitable for possible application in textile finishing.

References

1. Look D.C. Recent Advances in ZnO Materials and Devices / D.C. Look // Materials Science and Engineering B-Solid State Materials for Advanced Technology. – 2001. – 80(1-3). – P. 383-387. – DOI: 10.1016/S0921-5107(00)00604-8.
2. Li L. Surface micro-dissolution process for embedding carbon nanotubes on cotton fabric as a conductive textile / L. Li, T. Fan, R. Hu, et al. // Cellulose. – 2017. – 24(2). – P. 1-8. – DOI: 10.1007/s10570-016-1160-2.
3. Fan T. Fabrication of magnetic cotton fabrics using surface micro-dissolving technology in ZnCl_2 aqueous solution / T. Fan, Z. Zhao, J. Zhou, et al. // Cellulose. – 2018. – 25(2). – DOI:10.1007/s10570-017-1623-0.
4. Thennarasu G. Enhanced visible photocatalytic activity of cotton ball like nano structured Cu doped ZnO for the degradation of organic pollutant / G. Thennarasu, A. Sivasamy // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2016. – 134(Pt 2). – P. 412-420. – DOI: 10.1016/j.ecoenv.2015.10.030.
5. Salat M. Durable antimicrobial cotton textiles coated sonochemically with ZnO nanoparticles embedded in an in-situ enzymatically generated bioadhesive / M. Salat, P. Petkova, J. Hoyo, et al. // Carbohydrate Polymers. – 2018. – 189. – P. 198-203. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.02.033.
6. Abdelhady M.M. Preparation and Characterization of Chitosan/Zinc Oxide Nanoparticles for Imparting Antimicrobial and UV Protection to Cotton Fabric / M.M. Abdelhady // International Journal of Carbohydrate Chemistry. – 2012. – DOI: 10.1155/2012/840591.
7. Xu B. Fabrication of a Superhydrophobic ZnO Nanorod Array Film on Cotton Fabrics Via a Wet Chemical Route and Hydrophobic Modification / B. Xu, Z. Cai // Applied Surface Science. – 2008. – 254(18). – P. 5899-5904. – DOI: 10.1016/j.apsusc.2008.03.160.
8. Lam Y.L. Flame-retardant finishing in cotton fabrics using zinc oxide co-catalyst / Y.L. Lam, C.W. Kan, C.W.M. Yuen // Journal of Applied Polymer Science. – 2011. – 121, 1. – P. 612-621. – DOI: 10.1002/app.33738.
9. Abdel-Hady M.M. Flame retardancy and UV protection of cotton based fabrics using nano ZnO and polycarboxylic acids / M.M. Abdel-Hady, A. Farouk, S. Sharaf // Carbohydrate Polymers. – 2013. – 92, 1. – P. 400-406. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.08.085.
10. Sapana J. Modification of Textiles via Nanomaterials and Their Applications / J. Sapana, V. Anurakshee, A. Rizwan // Frontiers of Textile Materials. – 2020. – P. 135-152. – DOI: 10.1002/9781119620396.ch6.
11. Anandan M. Tuning the crystalline size of template free hexagonal ZnO nanoparticles via precipitation synthesis towards enhanced photocatalytic performance / M. Anandan, S. Dinesh, N. Krishnakumar, K. Balamurugan // J. Mater. Sci. Mater. Electron. – 2017. – 28. – P. 2574–2585. – DOI: 10.1007/s10854-016-5833-2.
12. Zak A.K. Synthesis and characterization of a narrow size distribution of zinc oxide nanoparticles / A.K. Zak, R. Razali, W.A. Majid, M. Darroudi // Int. J. Nanomed. – 2011. – 6. – P. 1399–1403. – DOI: 10.2147/IJN.S19693.
13. Tabib A. Structural and optical properties of Na doped ZnO nanocrystals: Application to solar photocatalysis / A. Tabib, W. Bouslama, B. Sieber, et al. // Appl. Surf. Sci. – 2017. – 396. – P. 1528–1538. – DOI: 10.1016/j.apsusc.2016.11.204.
14. Liang Y. Organozinc Precursor-Derived Crystalline ZnO Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Their Spectroscopic Properties / Y. Liang, S. Wicker, X. Wang, E. Erichsen, F. Fu // Nanomaterials. – 2018. – 8, 22. – DOI: 10.3390/nano8010022.
15. Ali T.T. Effect of pretreatment temperature on the photocatalytic activity of microwave irradiated

- porous nanocrystalline ZnO / T.T. Ali, K. Narasimharao, I.P. Parkin, et al. // *New J. Chem.* – 2015. – 39. – P. 321–332. – DOI: 10.1039/C4NJ01465K.
16. Fiedot M. The Relationship between the Mechanism of Zinc Oxide Crystallization and Its Antimicrobial Properties for the Surface Modification of Surgical Meshes / M. Fiedot, I. Maliszewska, O. Rac-Rumijowska, et al. // *Materials.* – 2017. – 10. – P. 353. – DOI: 10.3390/ma10040353.
17. Sathya M. Growth of pure and doped ZnO thin films for solar cell applications / M., Sathya A. Claude, P. Govindasamy, et al. // *Pelagia Res. Libr. Adv. Appl. Sci. Res.* – 2012. – 3(5). – P. 2591–2598.
18. Balogun S.W. Impact of Post-Deposition Heat Treatment on the Morphology and Optical Properties of Zinc Oxide (ZnO) Thin Film Prepared by Spin-Coating Technique / S.W. Balogun, Y.K. Sanusi, A.O. Aina // *J. Photon. Mater. Technol.* – 2017. – 3(3). – P. 20–28. – DOI: 10.11648/j.jmpt.20170303.11.
19. Sun Y. Synthesis and characterization of twinned flower-like ZnO structures grown by hydrothermal methods / Y. Sun, H. Guo, W. Zhang, et al. // *Ceram. Int.* – 2016. – 42. – P. 9648–9652. – DOI: 10.1016/j.ceramint.2016.03.051.
20. Talam S. Synthesis, Characterization, and Spectroscopic Properties of ZnO Nanoparticles / S. Talam, S.R. Karumuri, N. Gunnam // *ISRN Nanotechnology.* – 2012. – 6. – DOI:10.5402/2012/372505.
21. Romadhan M.F. Synthesis of ZnO Nanoparticles by Precipitation Method with Their Antibacterial Effect / M.F. Romadhan, N.E. Suyatma, F.M. Taqi // *Indones. J. Chem.* – 2016. – 16 (2). – P. 117–123. – DOI: 10.22146/ijc.21153.
22. Chen X. Preparation of ZnO photocatalyst for the efficient and rapid photocatalytic degradation of azo dyes / X. Chen, Z. Wu, D. Liu, Z. Gao // *Nanoscale Res. Lett.* – 2017. – 12. – P. 1–10. – DOI: 10.1186/s11671-0711904-4.
23. Seetawan U. Effect of Calcinations Temperature on Crystallography and Nanoparticles in ZnO Disk / U. Seetawan, S. Jugsujinda, T. Seetawan, et al. // *Materials Sciences and Applications.* – 2011. – 2. – P. 1302–1306. – DOI: 10.4236/msa.2011.29176.
24. Barabaszová K.Č Three methods for antibacterial ZnO nanoparticles preparation / K.Č Barabaszová, M. Hundáková, M. Mackovčáková, E. Pazdziora // *Materials Today: Proceedings.* – 2018. – 5. – P. S11–S19.
25. Bekele B. Synthesis, Characterization and Application of Zinc Oxide Nanoparticles for Textile Materials against Ultra Violet Radiation / B. Bekele, G. Berhanu, D. Shiferaw // *International Journal of Innovative Science and Research Technology.* – 2021. – 6, 1. – P. 1156–1165.
26. Cullity B.D. Elements of X-ray Diffraction / B.D. Cullity, S.R. Stock. – 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. – 664 p.

Рецензія/Peer review : 19.07.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

БАГРІЙ О. В.

<https://orcid.org/0000-0003-2267-7162>e-mail: bahrui@khmnu.edu.ua

Хмельницький національний університет

ІТЕРАЦІЙНІ АЛГОРИТМИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПЛОСКОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ СЕРЕДОВИЩА З СУТТЄВИМ ПРОЯВОМ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ

Розглядається обґрунтування ітераційного алгоритму чисельного розв'язання плоскої фізично нелінійної граничної задачі механіки дискретного середовища. Особливістю задачі є урахування впливу на деформування середовища внутрішнього кулонового тертя.

Ключові слова: ітераційний алгоритм, дискретне середовище, внутрішнє тертя.

Olena BAHRII

Khmelnitskyi National University

ITERATIVE ALGORITHMS FOR SOLVING A PLANE PROBLEM FOR AN ENVIRONMENT WITH SIGNIFICANT MANIFESTATION OF INTERNAL FRICTION

The purpose of research is to develop an algorithm for solving of a flat nonlinear problem of mechanics of discrete environment, which laws of deformation of take into account the effect of the internal friction. Described the explanation of the iterative algorithm for the numerical solution of the plane physically nonlinear boundary value problems of mechanics of discrete environment. Feature of the problem is the consideration of the effect of internal Coulomb friction on the deformation of the environment. When solving the problem in displacements for finite simplex elements, the continuity conditions are always satisfied at the nodes and at the faces of the element. Solving the system of canonical linear equations of the displacement method ensures the fulfillment of the equilibrium conditions in each node of the discrete computational domain. Therefore, the calculation procedure is organized in such a way that the obtained solutions also comply with the laws of deformation of the material. Known iterative methods of variable stiffness, initial stresses or initial deformations, which differ only in the method of obtaining solutions, can be used for this purpose. The analysis showed that the most effective method for solving the formulated physically nonlinear problem is the variable stiffness, on the basis of which the iterative algorithm was developed. Described in the article iterative algorithm for solving of a flat boundary value problems of mechanics of a discrete environment allows to take into account the influence on the process of deformation internal friction. It can also be used to solve problems in the mechanics of solid deformable body with a most influence of internal friction, thermo-elasticity problems, etc.

Keywords: iterative algorithm, discrete environment, internal friction.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сформульована в [1] система рівнянь, що описує крайову задачу плоскої області, заповненої матеріалом з суттєвим внутрішнім тертям, включає фізичні співвідношення зі змінними модулями деформації, величини яких не можуть бути наперед заданими, оскільки вони залежать від досягнутого в кожній точці області напружено-деформованого стану.

Для розв'язання такої фізично нелінійної задачі розроблено спеціальні чисельні ітераційні процедури. Як зазначено у [2], найбільш раціональним з відомих для реалізації таких процедур є метод скінчених елементів. Цей метод з урахуванням принципових особливостей деформування матеріалів у дограничній стадії прийнято за базовий при розробці ітераційних процедур.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є розробка алгоритму розв'язання плоскої нелінійної задачі механіки дискретного середовища, закони деформування якого враховують вплив внутрішнього тертя.

Виклад основного матеріалу

Математичне формулювання задачі наведено у [1].

Задача зводиться до розв'язання системи матричних рівнянь [1]:

$$[B]^T \{\sigma\} = \{V\} \quad \text{– рівняння рівноваги;}$$

$$\{\varepsilon\} = [B]\{u\} \quad \text{– геометричні співвідношення Коші;}$$

$$\{\sigma\} = [D]_{\text{зм}} \{\varepsilon\} \quad \text{– нелінійні фізичні рівняння з урахуванням силових та кінематичних умов на межі}$$

розрахункової області.

Зведення вказаної системи диференціальних рівнянь до одного чи декількох розв'язувальних рівнянь вищого порядку, як це зазвичай робиться при розв'язанні задач аналітичними методами, виявилось мало ефективним. Тому при розробці алгоритмів чисельного розв'язання плоскої фізично нелінійної задачі механіки дискретних матеріалів розроблено ітераційні процедури, аналогічні тим, що використовуються при розв'язанні задач теорії пластичності [3, 4], коли ітерації виконуються в межах кожного скінченого елемента, а не для всієї області, а рішення крайової задачі континуальної плоскої області введенням скінчених елементів зводиться до розв'язання системи канонічних рівнянь методу переміщень будівельної механіки з урахуванням відповідно сформульованих крайових умов.

Для прийнятих симплекс-елементів ітераційні процедури можуть бути реалізовані одним з трьох відомих методів [4]: змінних жорсткостей, початкових напружень та початкових деформацій.

Відомо, що розв'язок задачі буде єдиним, якщо воно задовольняє умовам рівноваги, нерозривності деформацій, прийнятим в моделі законам деформування та відповідає крайовим умовам розрахункової схеми.

Під час розв'язання задачі в переміщеннях [2] з використанням МСЕ для прийнятих симплекс-елементів умови нерозривності завжди виконуються у вузлах і на гранях елемента. Розв'язання системи канонічних лінійних рівнянь методу переміщень, які за своїм змістом є рівняннями рівноваги, забезпечує виконання умов рівноваги у кожному вузлі дискретної розрахункової області. Тому розрахункова процедура організовується таким чином, щоб одержані рішення відповідали також і законам деформування матеріалу. Для цього можуть бути використані відомі ітераційні методи змінних жорсткостей, початкових напружень або початкових деформацій, які відрізняються тільки способом одержання рішень.

При розв'язанні нелінійної задачі методом змінних жорсткостей усі „нелінійності” зводять в матрицю $[D]_{3M}$ змінних деформаційних параметрів, а далі – в матрицю $[k_e]$ жорсткості елемента. Деформаційні параметри G_{3M} і K_{3M} , що входять в ці матриці, корегуються для кожного наступного етапу ітерації в залежності від досягнутого на попередньому етапі рівня напружень і деформацій.

Метод початкових напружень відрізняється тим, що значення G і K залишаються постійними протягом всього розрахунку. В якості нев'язок між лінійним та нелінійним рішенням розглядають різницю напружень, яка приймається за початкові напруження для наступного етапу ітерацій.

Метод початкових деформацій аналогічний попередньому, але в якості нев'язок розглядають різницю деформацій.

Проведений аналіз показав, що найбільш ефективним для розв'язання сформульованої фізично нелінійної задачі є метод змінних жорсткостей, на основі якого і розроблено ітераційний алгоритм.

На першому етапі ітераційного алгоритму за цим методом розв'язують лінійну задачу однорідної області. Для усіх скінчених елементів задають одні і ті ж початкові значення модуля зсуву G_1 та модуля об'ємної деформації K_1 , які призначають за результатами випробувань зразків матеріалу в умовах плоскої деформації [5]. Формують матриці жорсткості $[k_1^e]$ кожного елемента, а за правилом „збирання” і глобальну матрицю жорсткості $[K_1]$ системи.

Розв'язують систему канонічних рівнянь методу переміщень з урахуванням крайових умов, в результаті чого визначають вектор вузлових переміщень $\{\delta\}_1$

$$\{\delta\}_1 = [K_1]^{-1} \{R\},$$

де $\{R\}$ – вектор вузлових сил.

За визначеними вузловими переміщеннями знаходять вектори досягнутих на першій ітерації деформацій $\{\epsilon\}_1$ і напружень $\{\sigma\}_1$ в кожному елементі

$$\{\epsilon\}_1 = [B] \{\delta\}_1;$$

$$\{\sigma\}_1 = [D]_1 [B] \{\delta\}_1.$$

За цими величинами обчислюють інваріанти S_1, P_1, G_1 тензорів напружень і деформацій. В просторі інваріантів значенням S_1, P_1, G_1 відповідає точка A_1 (рис. 1), а напруження $\{\sigma\}_1$ і деформації $\{\epsilon\}_1$, що одержані з рішення на першому етапі лінійної задачі, відповідають призначеним величинам модулів G_1 і K_1 , але не узгоджуються з нелійними законами деформування. Визначений з лінійного розв'язку напружено-деформований стан кожного скінченного елемента задовольняє умовам рівноваги і суцільності, але не задовольняє фізичним нелінійними рівняннями, що описують поверхню деформування матеріалу. Тому одержана точка A_1 (рис. 1) в загальному випадку не лежить на поверхні деформування. Досягнутій деформації G_1 на цій поверхні відповідає точка a_1 . Відрізок $A_1 a_1$ відображає різницю між лінійним і нелінійним розв'язком (нев'язку).

Для зменшення нев'язки проводять наступні ітерації.

На другій ітерації призначають нові значення модулів деформації

$G_2 = \frac{S_1}{G_1} = \frac{n}{m + G_1} P_1$; $K_2 = 2G_2 \frac{1 + \nu}{1 - \nu}$, свої для кожного елемента, і розв'язують лінійну задачу вже для

неоднорідної області, оскільки деформаційні параметри G_2 і K_2 будуть різними для кожного скінченного елемента. Далі формують матриці жорсткості $[k_2^e]$ елементів, глобальну матрицю жорсткості $[K_2]$ системи, знаходять вузлові переміщення $\{\delta\}_2$, деформації $\{\epsilon\}_2$ і напруження $\{\sigma\}_2$ в усіх елементах. Підраховують інваріанти S_2, P_2, G_2 одержаних на другому етапі тензорів напружень і деформацій, визначають нев'язку

між лінійним рішенням і поверхнею деформування. Якщо нев'язка більша наперед заданої малої величини, продовжують ітераційний процес з модулями деформації $G_3 = \frac{S_2}{\Gamma_2} = \frac{n}{m + \Gamma_2} P_2$; $K_3 = 2G_3 \frac{1+\nu}{1-\nu}$.

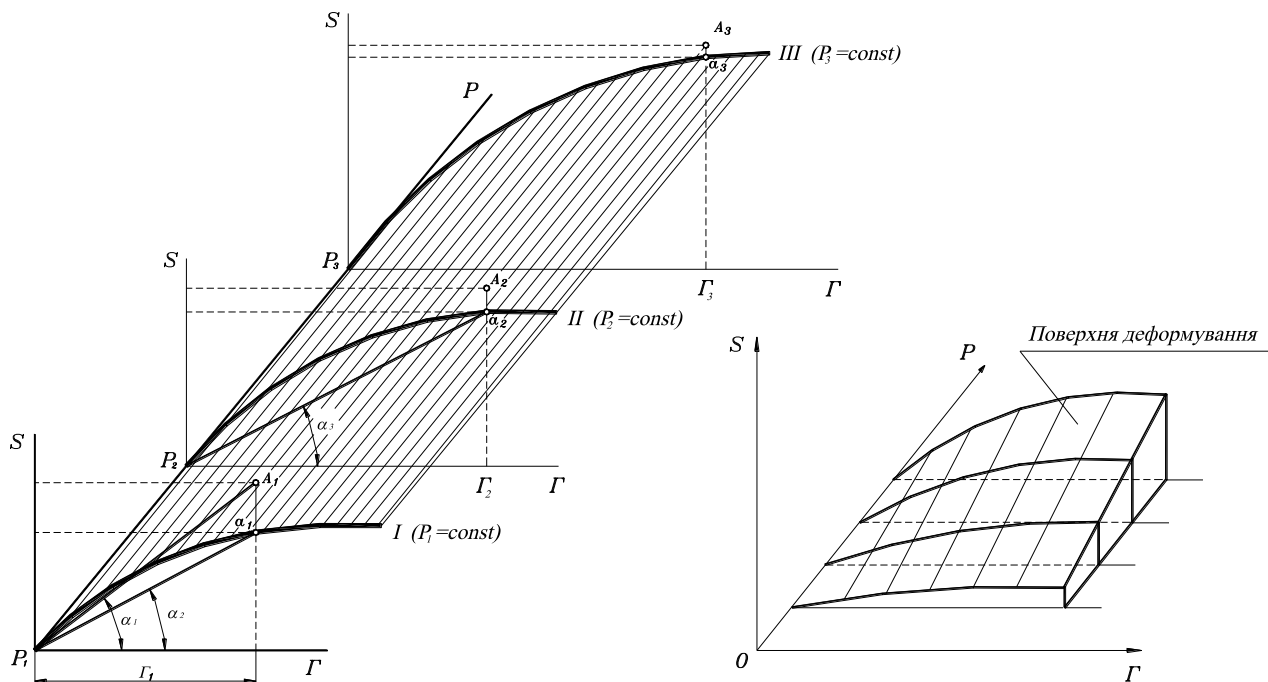


Рис. 1. Графічне представлення ітераційного процесу

Описаний процес наглядно ілюструється побудовами, що показані на рис. 1.

Лінійному рішення на першому етапі в просторі інваріантів Γ, S, P відповідає точка $A_1(\Gamma_1, S_1, P_1)$ і крива I , що є зрізом поверхні деформування площиною $P_1 = const$, а досягнутому рівню деформацій Γ_1 – точка a_1 на кривій I . Відрізок A_1a_1 розглядається як нев'язка між лінійним і нелінійним рішеннями. Модуль зсуву G_2 , що використовується на 2-му етапі ітерації дорівнює тангенсу кута нахилу січної O_1a_1 ($G_2 = tg\alpha_2$). Відповідно для третього етапу $G_3 = tg\alpha_3$ і т.д. Таким чином, на кожному наступному етапі ітераційного процесу величини модулів деформації призначають за напружено-деформативним станом, досягнутим в елементі на попередньому етапі. Процес закінчується на k -му етапі, коли нев'язка ξ стає меншою прийнятої допустимої величини $[\xi]$

$$\xi = \left| \frac{S_L^{(k)} - S_T^{(k)}}{S_T^{(k)}} \right| \leq [\xi],$$

де $S_L^{(k)}$ – значення інваріанта тензора напружень, що відповідає досягнутому в лінійному рішенні деформаціям $\Gamma^{(k)}$;

$S_T^{(k)}$ – значення інваріанта тензора напружень, що знаходиться з нелінійного фізичного співвідношення

$$S_T^{(k)} = \frac{n\Gamma^{(k)}}{m + \Gamma^{(k)}} P^{(k)}.$$

Рекурентні залежності, що описують запропонований алгоритм для k -го етапу, можна записати таким чином:

$$\left. \begin{aligned} G_{3M}^{(k)} &= \frac{S^{(k-1)}}{\Gamma^{(k-1)}}; \\ K_{3M}^{(k)} &= 2G_{3M}^{(k)} \frac{1+\nu}{1-2\nu}; \end{aligned} \right\} \text{ – корегування деформаційних параметрів;}$$

$$[D^{(k)}]_{3M} = [D] \left(G_{3M}^{(k)}, K_{3M}^{(k)} \right) \text{ – формулювання нової матриці деформаційних параметрів;}$$

$\left[k_e^{(k)} \right] = [B]^T [D^{(k)}]_{3m} [B] A \rightarrow [K^{(k)}]$ – формування матриці жорсткості кожного скінченного елемента;

$\left[K^{(k)} \right] \left\{ \delta^{(k)} \right\} = \{ R \}$ – формування системи рівнянь методу переміщень;

$\left\{ \delta^{(k)} \right\} = [K^{(k)}]^{-1} \{ R \}$ – визначення вузлових переміщень лінійних алгебраїчних рівнянь (розв’язання системи лінійних рівнянь методу переміщень);

$\left\{ \epsilon^{(k)} \right\} = [B^{(k)}] \left\{ \delta^{(k)} \right\} \rightarrow \Gamma^{(k)}$ – обчислення деформацій;

$\left\{ \sigma^{(k)} \right\} = [D^{(k)}] [B^{(k)}] \left\{ \delta^{(k)} \right\} \rightarrow S^{(k)}, P^{(k)}$ – обчислення напружень;

$S_T^{(k)} = \frac{n\Gamma^{(k)}}{m + \Gamma^{(k)}} P^{(k)}$ – визначення величини інваріанту, що відповідає поверхні деформування;

$\xi = \left| \frac{S^{(k)} - S_T^{(k)}}{S_T^{(k)}} \right| \leftrightarrow [\xi]$ – перевірка розходження.

Відмінність описаної ітераційної процедури від відомих процедур теорії пластичності полягає в тому, що "зближення" відбувається не в одній площині напружень – деформацій $(S - \Gamma)$, а в тривимірному просторі (S, Γ, P) . Положення кожної кривої $(S^{(k)} - \Gamma^{(k)})$ визначається рівнем досягнутого стискуючого напруження $P^{(k)}$.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розроблено ітераційний алгоритм розв’язання плоскої задачі механіки дискретних матеріалів, який відрізняється від алгоритмів теорії пластичності тим, що "зближення" відбувається не в одній площині напружень – деформацій $(S - \Gamma)$, а в тривимірному просторі (S, Γ, P) . Положення кожної кривої $(S^{(k)} - \Gamma^{(k)})$ визначається рівнем досягнутого стискуючого напруження $P^{(k)}$. Це дозволяє врахувати вплив стискуючого напруження на деформування та руйнування матеріалу.

Література

8. Ковтун В. В. Визначальні співвідношення механіки дискретного середовища / В. В. Ковтун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 5. – С. 69–76.
9. Багрій О. В. Алгоритми розв’язання плоскої задачі механіки дискретного середовища чисельним методом / О. В. Багрій, В. В. Ковтун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 5. – С. 36–42.
10. Морозов Е. М. Метод конечных элементов в механике разрушения / Е. М. Морозов, Г. П. Никишков. – М. : Наука, 1980. – 255 с.
11. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / Зенкевич О. – М. : Мир, 1975. – 541 с.
12. Пат. 11675 Україна, МПК (2006) G 01 N 33/24. Спосіб визначення деформаційних параметрів пористих матеріалів за результатами лабораторних випробувань / заявники Ковтун В. В., Багрій О. В. ; власник Хмельн. нац. ун-т. – № у 2005 03929 ; заявл. 25.04.05 ; опубл. 16.01.06, Бюл. № 1. – 3 с.

References

1. Kovtun V. V. Vyznachalni spivvidnoshennia mekhaniky dyskretnoho seredovyscha / V. V. Kovtun // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2008. – № 5. – С. 69–76.
2. Bahrii O. V. Alhorytmy rozv'iazannia ploskoi zadachi mekhaniky dyskretnoho seredovyscha chyselnyim metodom / O. V. Bahrii, V. V. Kovtun // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2013. – № 5. – С. 36–42.
3. Morozov E. M. Metod konechnykh elementov v mekhanike razrusheniya / E. M. Morozov, G. P. Nikishkov. – М. : Nauka, 1980. – 255 s.
4. Zenkevich O. Metod konechnykh elementov v tekhnike / Zenkevich O. – М. : Mir, 1975. – 541 s.
5. Pat. 11675 Ukraina, MPK (2006) G 01 N 33/24. Sposib vyznachennia deformatsiynykh parametriv porystykh materialiv za rezultatsamy laboratornykh vyprobuvan / zaiavnyky Kovtun V. V., Bahrii O. V. ; vlasnyk Khmeln. nats. un-t. – № u 2005 03929 ; zaiavl. 25.04.05 ; opubl. 16.01.06, Biul. № 1. – 3 s.

Рецензія/Peer review : 12.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

БЕЗВЕСІЛЬНА О. М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0000-0002-6951-1242>
e-mail: o.bezvesilna@gmail.com

КОТЛЯР С. С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0000-0002-6747-5698>
e-mail: s.tkachenko@kpi.ua

НЕЧАЙ С. О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0000-0002-0056-6341>
e-mail: prilad@ukr.net

ІЛЬЧЕНКО М. В.

ПАТ «НВО «Київський завод автоматики»
e-mail: inv125@ukr.net

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПРИЛАДОВОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ

У даній статті надано методику та результати проведених науковцями кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю КПІ ім. Ігоря Сікорського та ПАТ «НВО «Київський завод автоматики» експериментальних досліджень основних компонентів стабілізатора озброєння легкої броньованої техніки. Метою експериментальних досліджень є вимірювання на кожному із двигунів системи стабілізації ЕДМ20 електромагнітної та електромеханічної постійних часу. Випробування двигунів за оцінкою електромагнітної постійної часу проводились у складі автоматизованої приладової системи вимірювання механічних величин та стабілізації і на автономному робочому місці перевірки двигунів.

Ключові слова: стабілізатор озброєння, легка броньована техніка, двигун, системи стабілізації

Olena BEZVESILNA, Svitlana KOTLIAR, Serhii NECHAY
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Mikola ILCENKO
PJSC "RPA "Kyiv Automatic Plant"

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE MAIN COMPONENTS OF AUTOMATED INSTRUMENT SYSTEM STABILIZATION

This article presents the methodology and results of scientists conducted by the Department of Automation and Non-Destructive Testing Systems (ASNK) KPI. Igor Sikorsky and PJSC "RPA "Kyiv Automatic Plant"(KZA) experimental studies of the main components of the stabilizer of light armored vehicles (LAV). The purpose of experimental research is to measure on each of the motors of the stabilization system (SS) EDM20M, EDM02, EDM20 electromagnetic ($\tau_{EL. MAGN.}$) And electromechanical time constants ($\tau_{EL. MEX.}$). Testing of engines according to the assessment of $\tau_{EL. MAGN.}$ were carried out as part of an automated instrument system for measuring mechanical quantities and stabilization and in an autonomous workplace for testing engines. When testing as part of the SS in the winding of the braked EDM20M (EDM02, EDM20) voltages were supplied from the amplifier of the engine control unit (ECU) level 27V. The feed time was limited to 20ms due to the use of technological time relay (TR) in the signal input circuit "SIGN. PWM" of the amplifier of the engine control unit. Simultaneously with the supply of this voltage, oscillography was performed: the voltage applied to the motor windings (to use this parameter as a reference) and the output voltage of the current sensor (U_{CS}) of the ECU amplifier, which informs about the current in the winding. The current values were recalculated only for the maximum U_{CS} values. The U_{CS} oscillogram (increasing exponent) determined the time constant of the exponent, which corresponds to the electromagnetic time constant of the motor (excluding errors introduced by the inductances of the ECU chokes and power supply). When tested according to the autonomous scheme, the estimate $\tau_{EL. MAGN.}$ the engine was carried out according to the method, which is similar to the test method in the SS with the following differences: the voltage in the motor winding (hereinafter U_{PW}) was applied at 2.4 V for ~ 25 ms; in the scheme of autonomous tests of engines the source of tension of a direct current B5-21, the switch 831140A 27B, technological R.Ch. to measure the EDM current consumed, a 75 mV × 50A shunt was installed in series in the motor winding. According to the results of experiments, the following main technical characteristics are established. Electromagnetic time constants are: 0.7 ms - for EDM20M; 0.7 ms - for EDM02; 0.85 ms - for EDM20. Electromechanical time constants are: 20 ms - for EDM20M; 24 ms - for EDM02; 26 ms - for EDM20.

Keywords: arm stabilizer, light armored vehicles, engine, stabilization systems

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Мета статті – розробка та надання опису методики проведення експериментальних досліджень основних компонентів стабілізатора озброєння (СО) легкої броньованої техніки (ЛБТ).

Задача статті – доступними засобами та методами експериментальних досліджень, у тому числі, із застосуванням методів математичного моделювання, підтвердити достовірність технічних характеристик, які наведені у прийнятих схемо-технічних рішеннях.

Аналіз досліджень та публікацій

У відомій літературі [1-2 та ін.] немає відомостей щодо сучасних експериментальних досліджень основних компонентів СО ЛБТ - двигунів. Точнісні параметри СС та обороноздатність ЛБТ великим чином залежать від характеристик та параметрів двигунів, що входять до складу СС. Тому мета даної статті є надзвичайно актуальною. У статті викладено останні нові досягнення у галузі експериментальних досліджень основних компонентів сучасних СС ЛБТ - двигунів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Проведено експериментальні дослідження основних елементів СС ЛБТ - двигунів марок ЕДМ20М, ЕДМ02, ЕДМ20, присвячені визначенню їх електромагнітної та електромеханічної постійних часу.

Метою експериментальних досліджень є вимірювання у кожного із двигунів ЕДМ20М, ЕДМ02, ЕДМ20 електромагнітної ($\tau_{\text{ел. магн.}}$) та електромеханічної постійних часу ($\tau_{\text{ел. мех.}}$) [3-13].

Обсяг досліджень двигунів за оцінкою $\tau_{\text{ел. магн.}}$

Випробування двигунів за оцінкою $\tau_{\text{ел. магн.}}$ проводились у складі автоматизованої приладової системи вимірювання механічних величин та стабілізації і на автономному робочому місці перевірки двигунів.

При випробуваннях у складі стабілізатора в обмотку загальмованого ЕДМ20М (ЕДМ02, ЕДМ20) подавались напруги від підсилювача БКД рівнем 27 В. Час подачі обмежувався до 20 мс за рахунок використання технологічного реле часу (Р. Ч.) у вхідному ланцюзі сигналу «СИГН. ШІМ» підсилювача БКД. Одночасно з подачею зазначеної напруги проводилося осцилографування.

На обмотки двигуна подавалась напруга для використання цього параметру надалі, як довідкового.

Напруга на виході датчика струму ($U_{\text{дс}}$) підсилювача БКД двигуна інформує про струм в обмотці. Перерахування значення струму проводилось тільки для максимальних значень $U_{\text{дс}}$.

По осцилограмі $U_{\text{дс}}$ (зростаюча експонента) визначалась постійна часу експоненти, що відповідає електромагнітній постійній часу двигуна (без врахування похибок, що внесені індуктивностями дроселів БКД та джерела живлення).

При випробуваннях за автономною схемою оцінка $\tau_{\text{ел. магн.}}$ двигуна проводилася за методикою, яка аналогічна випробуванням у складі СС при наступних відмінностях:

- напруга в обмотку двигуна (далі $U_{\text{жив. обм.}}$) подавалася рівнем 2,4 В на час ~ 25 мс.;

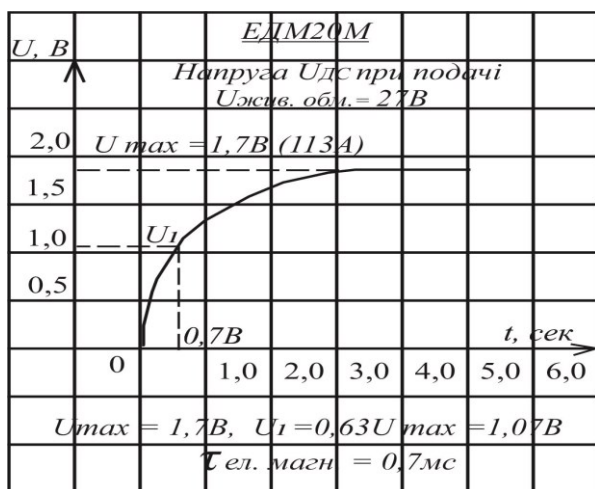


Рис. 1. Напруга $U_{\text{дс}}$ ЕДМ20М при подачі $U_{\text{жив. обм.}} = 27\text{В}$

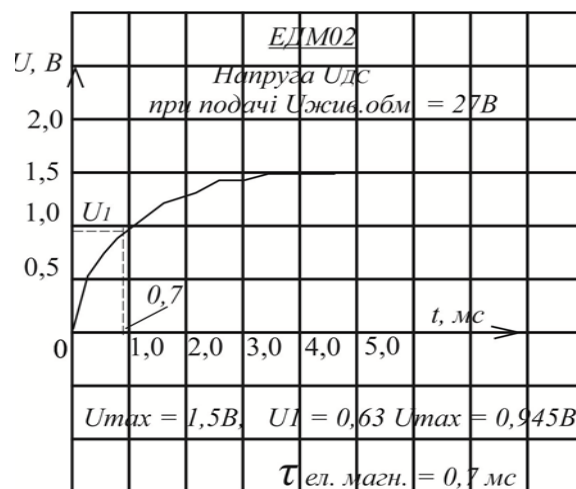


Рис. 2. Напруга $U_{\text{дс}}$ ЕДМ02 при подачі $U_{\text{жив. обм.}} = 27\text{В}$

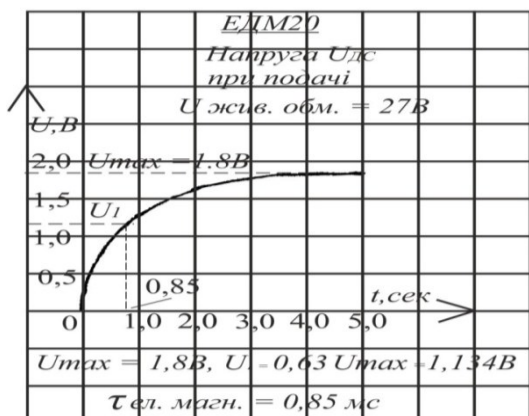


Рис. 3. Напруга $U_{\text{дс}}$ ЕДМ20 при подачі $U_{\text{жив. обм.}} = 27\text{В}$



Рис. 4. Напруга на обмотці двигуна ЕДМ20М при подачі $U_{\text{жив. обм.}} = 27\text{В}$

- у схемі автономних випробувань двигунів використані джерело напруги постійного струму Б5-21, комутатор 831140А 27В, технологічне Р.Ч.;

- для виміру споживаного ЕДМ струму послідовно в обмотку двигуна був установлений шунт «75 мВ × 50А».

Обсяг досліджень двигунів за оцінкою $\tau_{\text{ЕЛ. МЕХ.}}$

Випробування проводились у складі стабілізатора з двигунами, які було включено в режим холостого ходу.

Для виміру $\tau_{\text{ЕЛ. МЕХ.}}$ в обмотку ЕДМ подавалась напруга від БКД 27 В тривалістю ≈ 60 мс з одночасним осцилографуванням напруги $U_{\text{ДС}}$, а також - напруга на обмотку двигуна, як довідкова.

По осцилограмі $U_{\text{ДС}}$ (спадаюча експонента) визначалася постійна часу експоненти, що відповідає електромеханічній постійній часу двигуна $\tau_{\text{ЕЛ. МЕХ.}}$

Результати досліджень двигунів за оцінкою $\tau_{\text{ЕЛ. МАГН.}}$

На рис. 1-4 наведено осцилограми напруги $U_{\text{ДС}}$ (з показниками вимірюваного значення $\tau_{\text{ЕЛ. МАГН.}}$) для двигунів при випробуваннях у складі СС (для поданої в обмотки двигунів напруги $U_{\text{ЖИВ. ОБМ.}}$, що рівна 27В).

На рис. 4 наведено отриману осцилограму напруги на обмотці ЕДМ20М при подачі $U_{\text{ЖИВ. ОБМ.}} = 27\text{В}$ (аналогічно для ЕДМ02, ЕДМ20 при незначних відмінностях), що характеризується зменшенням напруги на 8В протягом 3,5 мс з моменту подачі $U_{\text{ЖИВ. ОБМ.}}$ через осідання джерела живлення $= 27\text{В}$ та спад напруги при монтажі та на електро-радіо виробках підсилювача БКД.

На рис.5 наведено отриману осцилограму напруги на шунті «75 мВ × 50А» при подачі в обмотки двигунів напруг $U_{\text{ЖИВ. ОБМ.}} = 2,4\text{В}$ (автономні випробування ЕДМ).

На рис.6 наведено отриману осцилограму напруги на обмотці двигуна, при подачі $U_{\text{ЖИВ.}} = 2,4\text{В}$ (ідентично для ЕДМ20М, ЕДМ02, ЕДМ20). Спостерігається зменшення напруги на обмотці на 0,2В протягом 1 мс із моменту подачі $U_{\text{ЖИВ. ОБМ.}}$ при подальшій його стабільності.

Результати досліджень двигунів за оцінкою $\tau_{\text{ЕЛ. МЕХ.}}$

На рис. 9-11 наведено отримані осцилограми напруги $U_{\text{ДС}}$ при розгоні у режимі холостого ходу ЕДМ при подачі $U_{\text{ЖИВ. ОБМ.}} = 27\text{В}$ (з вказівкою вимірюваних значень $\tau_{\text{ЕЛ. МЕХ.}}$).

На рис. 12 наведено отриману осцилограму напруги на обмотці двигуна (ідентична для ЕДМ20М, ЕДМ02, ЕДМ20) при розгоні ЕДМ у момент подачі $U_{\text{ЖИВ. ОБМ.}} = 27\text{В}$.

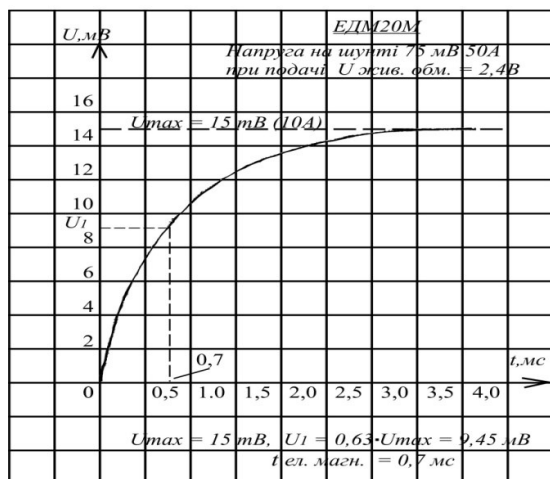


Рис. 5. Напруга на шунті 75мВ 50А на ЕДМ20М при подачі $U_{\text{ЖИВ. ОБМ.}} = 2,4\text{В}$

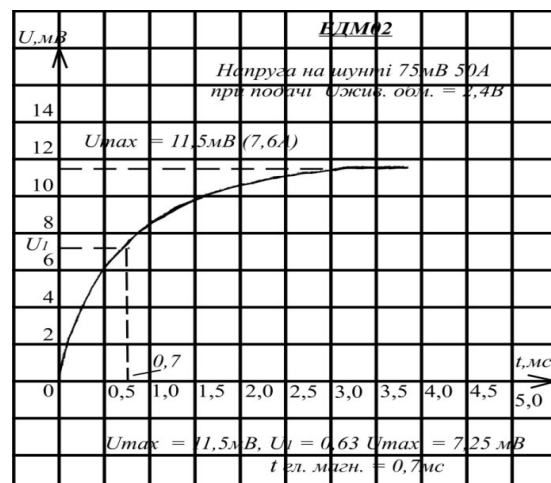


Рис. 6. Напруга на шунті 75мВ 50А на ЕДМ02 при подачі $U_{\text{ЖИВ. ОБМ.}} = 2,4\text{В}$

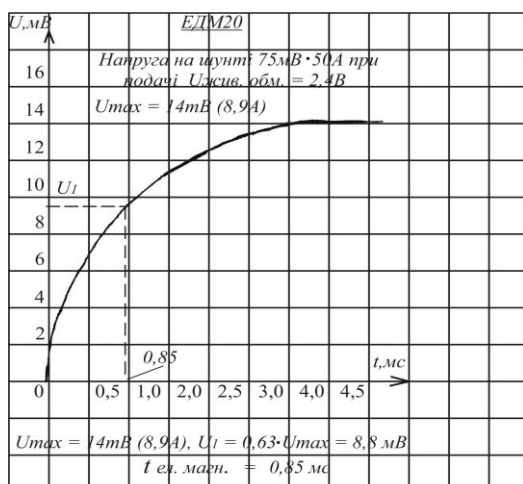


Рис. 7. Напруга на шунті 75мВ 50А при подачі $U_{\text{ЖИВ. ОБМ.}} = 2,4\text{В}$

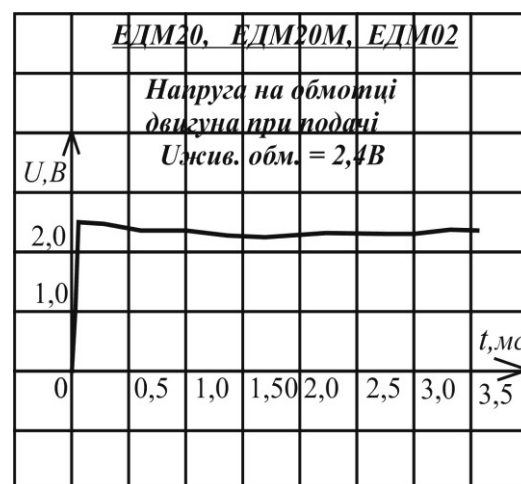


Рис. 8. Напруга на обмотці двигунів на ЕДМ20 при подачі $U_{\text{ЖИВ. ОБМ.}} = 2,4\text{В}$

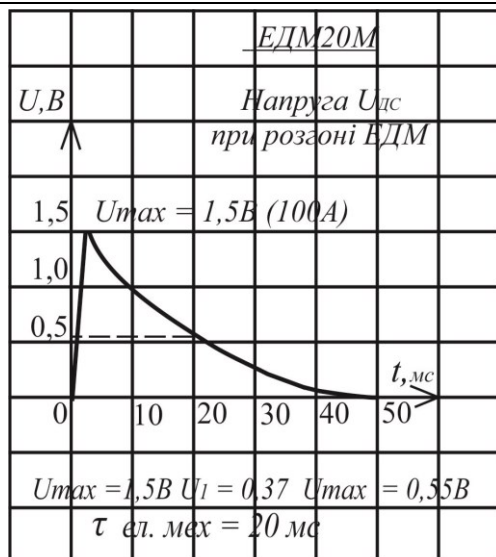
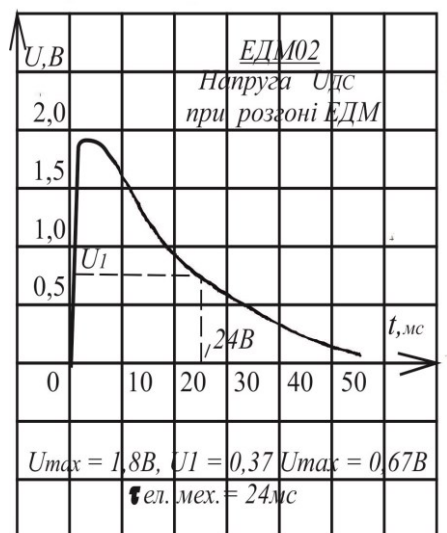
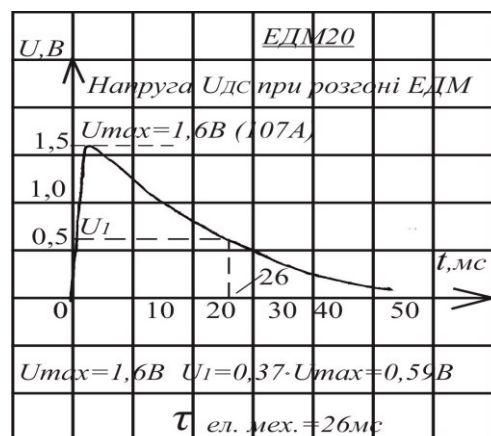
Рис. 9. Напруга $U_{дс}$ при розгоні ЕДМ20МРис. 10. Напруга $U_{дс}$ при розгоні ЕДМ02Рис. 11. Напруга $U_{дс}$ при розгоні ЕДМ20

Рис. 12. Напруга на обмотках двигунів

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

За результатами проведених експериментальних випробувань основних елементів СС - двигунів встановлено наступні основні технічні характеристики досліджуваних двигунів СС:

- Електромагнітні постійні часу становлять:
 - 0,7 мс - для ЕДМ20М,
 - 0,7 мс - для ЕДМ02,
 - 0,85 мс - для ЕДМ20;
- Електромеханічні постійні часу становлять:
 - 20 мс - для ЕДМ20М,
 - 24 мс - для ЕДМ02,
 - 26 мс - для ЕДМ20.

Література

- Лепешинский И.Ю. Автоматические системы управления вооружением / И.Ю. Лепешинский, П.М. Варлаков, Д.Н. Захаров, О.И. Чикирев // Учебное пособие. – Омск. – 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://mslstarussia.ru/forum/download/life.php?id=36773>.
- Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Боевая машина пехоты БМП-2. Часть. 1. – 2007. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://armyman.info/books/id-44.html>.
- Безвесільна О.М. Наукові, технологічні, організаційні та впроваджувальні основи створення нового комплексу стабілізатора озброєння легких броньованих машин / О.М. Безвесільна, В.Г. Цірук // Монографія. – НПО «Пріоритети», Київ з грифом ЖДТУ. – 2015. – 176с.
- Bezvesilna O.M. The analytical review of existing instrumental stabilizing complexes / Bezvesilna Olena, Tsiruk Victor, Chepuk Larina // Технологічні комплекси, Луцьк. - 2018, №1(15). С. 15-26. (Copernicus).
- Bezvesilna O.M. Methods and Ways of Piezoelectric Accelerometers Fastening on the Objects of Research / Bezvesilna O.M., Korobiichuk I., Kachniarz M., Koshoviy M., Kvasnikove V.// ACTA PHYSICA POLONICA V.133(18) -2018.-N4 p.1112-1115 (Scopus).

6. Tkachuk A. Scientific and theoretical development of stabilization systems for gravimetric systems and modern sensing elements for measuring gravitational acceleration / A.Tkachuk, O. Bezvesilna // Scientific development and achievements. – 2018. – Vol. 5. – P.115-129. London, UK, (Web of Science).
7. Безвесільна О.М. Інтегруючий режим вібраційного гіроскопа з металевим циліндричним ротором / Безвесільна О.М., Петренко М.В., Ільченко М.В. // Вісник Хмельницького технічного університету. Технічні науки — Хмельницький, 2019. — №4(275). — С.169-175. Index Copernicus, Google Scholar.
8. Безвесільна О.М. Шляхи підвищення точності приладових стабілізаторів / Безвесільна О.М., Петренко М.В., Ільченко М.В. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки — Хмельницький національний університет, Хмельницький, 2019. — №3(273). — С.158-163. Index Copernicus, Google Scholar.
9. Bezvesilna O.M. Devising and Introducing a Procedure for Measuring a dynamic Stabilization error in Weapon stabilizers // Безвесільна О., М., Петренко О., Галицький В. Ільченко М. // Східно-Європейський журнал передових технологій, Харків, №1/9(103), 2020, с. 39-45 Scopus, CrossRef, Index Copernicus, DOAJ, SIS та ін.(Scopus).
10. Korobiichuk I. Numerical Modeling of Dynamic Disturbances Acting on the Sensitive Elements of an Instrument Navigation System / Igor Korobiichuk, Olena Bezvesilna, Yuriy Podchashinskiy Katarzyna, Rzeplińska-Rykała // Advances in Intelligent Systems and Computing Springer Nature is making SARS-CoV-2 research free. Conference on AUTOMATION 2020. P.279-288, 2020 (Scopus).
11. Tkachuk A. Information and measurement system of weapon stabilization parameters based on precision piezoelectric sensitive element / Andrii Tkachuk, Olena Bezvesilna, Aleksandr Dodrzhanskyi, Anna Ostapchuk, Mykola Horodyskyi // E3S Web of Conferences Volume 166 (2020) The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020) Kryvyi Rih, Ukraine, May 20-22, 2020 (Scopus). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016605005> PDF (1012 KB) NASA ADS Abstract Service.
12. Безвесільна О.М. Математичні моделі основних вузлів та блоків автоматизованого приладового комплексу стабілізації / Безвесільна О.М., Ільченко М.В., Самойлов В.Д. // Електронне моделювання. Видавництво НАНУ, Vol 43, №5 (2021). (Google Scholar, Index Copernicus). p.108-121.
13. Bezvesilna O. Development of the model of the intelligent instrument system for measuring the parameters of the stress-strain state / Olena Bezvesilna, Lyudmyla Kuzmych, Volodymyr Kvasnicov // 2nd International Workshop on Computational & Information Technologies for Control & Modeling (CITCM 2021) co-located with V International scientific-practical conference on Modeling, Control and Information Technology (MCIT 2021). Rivne 5.11.21(Scopus).

References

1. Lepeshynskiy Y.Iu. Avtomaticheskoye upravleniye vooruzheniy / Y.Iu. Lepeshynskiy, P.M. Varlakov, D.N. Zakharov, O.Y. Chykyrev // Uchebnoye posobie. – Omsk. – 2015. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://mslstarussia.ru/forum/download/attachment.php?id=36773>.
2. Tekhnicheskoye opysaniye y unstruksiya po ekspluatatsii. Boveia mashyna pekhoty BMP-2. Chast. 1. – 2007. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://armyman.info/books/id-44.html>.
3. Bezvesilna O.M. Naukovi, tekhnolohichni, orhanizatsiini ta vprovadzhuvalni osnovy stvorennia novoho kompleksu stabilizatora ozbroiennia lehkyykh bronovanykh mashyn / O.M. Bezvesilna, V.H. Tsiruk // Monohrafiia. – NPO «Priorytet», Kyiv z hryfom ZhDTU. – 2015. – 176s.
4. Bezvesilna O.M. The analytical review of existing instrumental stabilizing complexes / Bezvesilna Olena, Tsiruk Victor, Chepuk Larina // Tekhnologichni kompleksi, Luts'k. - 2018, №1(15). C. 15-26. (Copernicus).
5. Bezvesilna O.M. Methods and Ways of Piezoelectric Accelerometers Fastening on the Objects of Research / Bezvesilna O.M., Korobiichuk I., Kachniarz M., Koshoviy M., Kvasnikove V. // ACTA PHYSICA POLONICA V.133(18) -2018.-N4 p.1112-1115 (Scopus).
6. Tkachuk A. Scientific and theoretical development of stabilization systems for gravimetric systems and modern sensing elements for measuring gravitational acceleration / A.Tkachuk, O. Bezvesilna // Scientific development and achievements. – 2018. – Vol. 5. – P.115-129. London, UK, (Web of Science).
7. Bezvesilna O.M. Intehruichy rezhym vibratsiynoho hiroskopa z metalovym tsylindrychnym rotorom / Bezvesilna O.M., Petrenko M.V., Ilchenko M.V. // Visnyk Khmelnytskoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnichni nauky — Khmelnytskyi, 2019. — №4(275). — С.169-175. Index Copernicus, Google Scholar.
8. Bezvesilna O.M. Shliakhy pidvyshchennia tochnosti prykladovykh stabilizatoriv / Bezvesilna O.M., Petrenko M.V., Ilchenko M.V. // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky — Khmelnytskyi natsionalnyi niversytet, Khmelnytskyi, 2019. — №3(273). — С.158-163. Index Copernicus, Google Scholar.
9. Bezvesilna O.M. Devising and Introducing a Procedure for Measuring a dynamic Stabilization error in Weapon stabilizers // Безвесільна О., М., Петренко О., Галицький В. Ільченко М. // Східно-Європейський журнал передових технологій, Харків, №1/9(103), 2020, с. 39-45 Scopus, CrossRef, Index Copernicus, DOAJ, SIS та ін.(Scopus).
10. Korobiichuk I. Numerical Modeling of Dynamic Disturbances Acting on the Sensitive Elements of an Instrument Navigation System / Igor Korobiichuk, Olena Bezvesilna, Yuriy Podchashinskiy Katarzyna, Rzeplińska-Rykała // Advances in Intelligent Systems and Computing Springer Nature is making SARS-CoV-2 research free. Conference on AUTOMATION 2020. P.279-288, 2020 (Scopus).
11. Tkachuk A. Information and measurement system of weapon stabilization parameters based on precision piezoelectric sensitive element / Andrii Tkachuk, Olena Bezvesilna, Aleksandr Dodrzhanskyi, Anna Ostapchuk, Mykola Horodyskyi // E3S Web of Conferences Volume 166 (2020) The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020) Kryvyi Rih, Ukraine, May 20-22, 2020 (Scopus). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016605005> PDF (1012 KB) NASA ADS Abstract Service.
12. Bezvesilna O.M. Matematychni modeli osnovnykh vuzliv ta blokv avtomatyzovanoho prykladovoho kompleksu stabilizatsii / Bezvesilna O.M., Ilchenko M.V., Samoilov V.D. // Elektronne modeliuвання. Vydavnytstvo NANU, Vol 43, №5 (2021). (Google Scholar, Index Copernicus). p.108-121.
13. Bezvesilna O. Development of the model of the intelligent instrument system for measuring the parameters of the stress-strain state / Olena Bezvesilna, Lyudmyla Kuzmych, Volodymyr Kvasnicov // 2nd International Workshop on Computational & Information Technologies for Control & Modeling (CITCM 2021) co-located with V International scientific-practical conference on Modeling, Control and Information Technology (MCIT 2021). Rivne 5.11.21(Scopus).

БІЛИК О. Б.

Вінницький національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0002-8169-8679>
e-mail: vdvsasha2@gmail.com

КОНОНОВ С. П.

Вінницький національний технічний університет
e-mail: knnvknnv@ukr.net

НОВИЙ ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ВИСОКОСТАБІЛЬНОГО ДІАПАЗОННОГО НВЧ-ГЕНЕРАТОРА

Розглядається діапазонний НВЧ генератор. В петлі ФАПЧ генератора встановлений помножувач частоти. У генераторі відсутній дільник частоти, тому він має підвищену стабільність через низький вихідний рівень фазового шуму. Запропонований пристрій може використовуватися в телекомунікаційному і радіотехнічному обладнанні.

Ключові слова: діапазонний генератор, НВЧ генератор, частотна нестабільність, фазовий шум, генератор гармонік, помножувач частоти, перемножувач, фільтр, ФАПЧ, опорна частота.

Oleksandr BILYK

Vinnytsia National Technical University

Serhii KONONOV

Vinnytsia National Technical University

A NEW APPROACH TO CREATING A HIGHLY STABLE RANGE MICROWAVE GENERATOR

A range microwave generator is considered. A frequency multiplier is installed in the PLL loop of the generator. There is no frequency divider in the generator. It has increased stability due to low output phase noise. The proposed device can be used in telecommunications and radio equipment. The microwave generator consists of an autogenerator, three multipliers, a bandpass filter, two low-pass filters, a reference frequency unit, a harmonic generator, and a control unit. Auxiliary units of the generator are two adders, a key and two controllers. The first multiplier together with the bandpass filter works as a stroboscopic transducer, the second - as a quadrator, the third with a low-pass filter - as a phase detector. The inputs of the stroboscopic converter receive two voltages from the harmonic generator. The frequencies of the first voltage harmonics are close. Voltages have the form of short pulses and are enriched with harmonics. After the signal at the output of the first low-pass filter, the first controller opens the key, switches the reference frequency node and through the second controller closes the PLL loop. The control unit sets the reference frequencies and changes the frequency of the autogenerator. The main nodes of the PLL loop are the third multiplier with the second low-pass filter. Auto-tuning of the generator begins with the appearance of the control signal from the quadrator. The signal appears after the strobe conversion frequency at the output of the bandpass filter coincides with the center frequency. The frequency instability of the range generator decreases. It is approaching the instability of the reference frequency. The stability of the reference frequencies determines the relative frequency error of the range of the microwave generator. The maximum frequency depends on the parameters and dynamic properties of the autogenerator, stroboscopic transducer and harmonic generator. A high-quality harmonic generator will provide a low level of phase noise. The structural scheme of the microwave generator is offered and its work is explained. The analysis of the mathematical model of the microwave generator is performed. The formulas of interrelation of voltages of knots with initial oscillation of the generator are received. Computer simulations have confirmed that the output frequency can be stabilized in the generator.

Keywords: band generator, microwave generator, frequency instability, phase noise, harmonic generator, frequency multiplier, multiplier, filter, PLL, reference frequency.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

В електронних системах широко застосовується НВЧ генераторне обладнання. Основними показниками якості такого обладнання є висока частотна стабільність і чистота спектру, яка визначається, в першу чергу, рівнем фазового шуму. Поширеним способом реалізації таких параметрів є використання частотного синтезу непрямої дії на основі фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ) у комбінації з генерацією НВЧ коливання за допомогою ЗІГ-резонатора, LC-структури або інших резонаторів, таких як смуговий, об'ємний, діелектричний та інші.

В класичному варіанті в петлі ФАПЧ відбувається ділення частоти з великим коефіцієнтом, що призводить до значного збільшення рівня фазового шуму, а відповідно, до погіршення частотної стабільності генератора [1,2]. Як вихід із ситуації замість ділення використовують операцію перенесення на низьку частоту порівняння в петлі ФАПЧ. Для цього в генераторі встановлюють один або більше перетворювачів частоти. Чим вище частота генерації, тим складніше формувати опорні коливання для таких перетворювачів. Розробники шукають інші шляхи створення якісних НВЧ генераторів. Один з них ґрунтується на застосуванні у частотному синтезі непрямої дії з ФАПЧ в оптимальній комбінації разом із перетворенням частоти операції множення частоти.

Аналіз досліджень та публікацій

Серед відомих генераторів, у петлі ФАПЧ яких відсутній дільник частоти, виділимо два.

Перший запропоновано фірмою Analog Devices (рис. 1) [1]. Автогенератор (АГ) керується через фільтр нижніх частот (ФНЧ) напругою з виходу фазо-частотного детектора (ФЧД), в якому порівнюються з

точністю до фази частота від вузла опорної частоти (ОЧ) і проміжна частота з виходу перетворювача на перемножувачі сигналів (ПС) і смуговому фільтрі (СФ).

На опорний вхід перемножувача (ПС) подається сигнал від вузла прямого цифрового синтезу (DDS), роботу якого задає вузол тактової частоти (ТЧ). Генератор має високу частотну стабільність з низьким рівнем фазового шуму, але обмежений зверху потенційними можливостями вузла DDS частотний діапазон (до 4 ГГц).

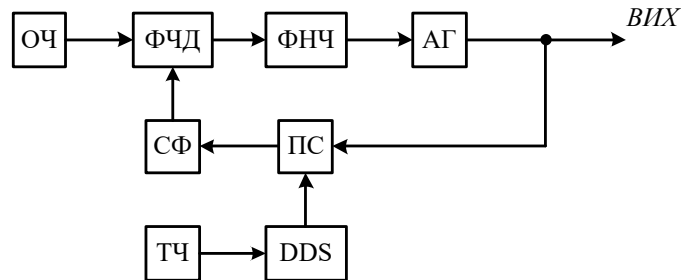


Рис. 1. Генератор фірми Analog Devices

Максимальна частота НВЧ генератора, який входить до складу аналізатора спектру СК4 – БЕЛАН набагато вища (рис. 2) [2]. Це досягнуто завдяки використанню генератора гармонік (ГГ) як джерела одного з вхідних сигналів перетворювача на перемножувачі ПС та фільтрі СФ. Генератор ГГ на діодах з накопиченням заряду управляється спеціальним синтезатором частоти (СЧ).

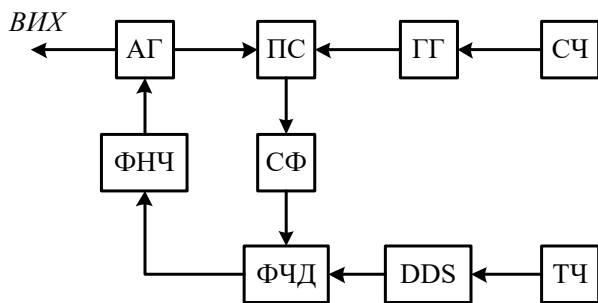


Рис. 2. НВЧ генератор аналізатора спектру

На відміну від генератора (рис. 1) частота порівняння петлі ФАПЧ змінна, а в схемі присутні два джерела фазового шуму – вузли СЧ і DDS. В результаті, частотна стабільність НВЧ генератора погіршується.

Виклад основного матеріалу

Структурна схема та пояснення роботи.

Запропонований діапазонний НВЧ генератор (рис. 3) є модифікацією [3] і працює наступним чином.

На вхід блоку управління (БУ) надходить цифровий код про частоту f , яку необхідно встановити на виході генератора. По першому виходу блоку БУ запускається другий керувач (К2). Він починає лінійно в часі змінювати частоту автогенератора (АГ). По другому виходу блоку БУ встановлюються на виході вузла опорних частот (ОЧ) два стабільних коливання із близькими частотами f_1 і f_2 , причому $f_2 > f_1$. Частоти знаходяться з системи рівнянь

$$\begin{cases} f = N(f_1 + f_2) / 2, \\ f_0 = N(f_2 - f_1) / 2, \end{cases} \quad (1)$$

де N – постійний коефіцієнт множення частоти (ціле число в межах 4, ..., 25 або більше), f_0 – постійна центральна частота регулювання в петлі ФАПЧ, причому $f_0 \ll f$.

Розв'язок системи рівнянь дає наступне:

$$f_1 = (f - f_0) / N, f_2 = (f + f_0) / N. \quad (2)$$

Генератор гармонік (ГГ) формує на виходах короткі імпульси з частотами повторення f_1 і f_2 , відповідно. Амплітудний спектр цих імпульсних послідовностей з максимальним номером гармоніки N рівномірний у всьому діапазоні частот генератора. На виході першого суматора (С1) утворюється об'єднана імпульсна послідовність.

Перший аналоговий перемножувач (АП1) працює в режимі стробоскопічного змішувача, другий АП2 – в режимі квадратора, а третій АП3 – як фазовий детектор.

На діаграмі (рис. 4) показано, чому дорівнює частота (в межах від 0 до $2f_0$) продуктів перетворення на виході перемножувача АП1, якщо частота діапазонного НВЧ генератора змінюється на $\pm 3f_0$ відносно частоти f . Перебудова генератора АГ закінчується в момент, коли з виходу смугового фільтра (СФ) зі смугою пропускання f_0 / N на замкнуті входи перемножувача АП2 надходить сума двох коливань з частотою f_0 (рис. 4, точка А).

Після появи низькочастотної напруги з постійною складовою на виході першого фільтра нижніх частот (Ф1) зі смугою пропускання $f_0 / 2N$ керувач К1 знімає з виходу вузла ОЧ два стабільних коливання з частотою f_2 і відкриває ключ (КЛ). Крім того, керувач К2 зупиняє перебудову генератора АГ.

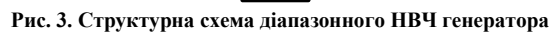


Рис. 4. Зміна частоти

Математична модель. Модель (рис. 5) складається з трьох перемножувачів (М1-М3) з коефіцієнтами перетворення m_1, m_2, m_3 , відповідно, та трьох фільтрів з ідеалізованими прямокутними амплітудно-частотними характеристиками: смугового F1 з коефіцієнтом передачі k_{f1} , центральною частотою f_0 та смугою пропускання f_0 / N ; нижніх частот F2 з коефіцієнтом передачі k_{f2} та смугою пропускання $f_0 / 2N$; нижніх частот F3 з коефіцієнтом передачі k_{f3} та смугою пропускання Δf_{PLL} . Крім того, до моделі входить суматор Σ з одиничними коефіцієнтами передачі, який поєднує дві вхідних напруги u_1, u_2 з близькими опорними частотами Nf_1, Nf_2 , де N – номер гармоніки. На вхід ВХ надходить нестабільне НВЧ колювання частотою f , а на вхід ВХ.0 – опорне колювання петлі ФАПЧ частотою f_0 . Напряга u_{f2} з виходу ВІХ використовується для включення ФАПЧ.

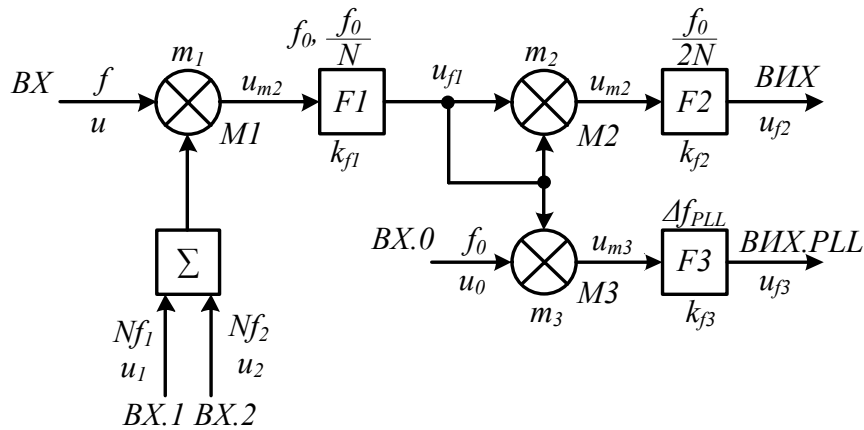


Рис. 5. Математична модель

Вхідне НВЧ коливання описується виразом

$$u = U \cos \psi(t), \quad (3)$$

де $\psi(t)$ – повна фаза, $f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\psi(t)}{dt}$ – миттєва частота.

У випадку генерації коливання фіксовані частоти

$$u = U \cos 2\pi ft. \quad (4)$$

Якщо генератор змінює частоту лінійно в часі

$$u = U \cos[2\pi ft + \pi\gamma(t - t_0)^2], \quad (5)$$

де $f(t) = f + \gamma(t - t_0)$ – миттєва частота, γ – швидкість зміни частоти. Моделювання буде проведено для НВЧ коливання, процес зміни частоти якого зупиняється при $t = t_0$.

Спочатку розглянемо випадок, коли при зупинці частота НВЧ коливання має нульове відхилення $\Delta f = 0$. Для спрощення будемо вважати, що вхідні напруги мають одиничну амплітуду.

На опорний вхід перемножувача M1 надходить сума двох напруг

$$u_1 + u_2 = \cos(2\pi Nf_1 t) + \cos(2\pi Nf_2 t). \quad (6)$$

На його виході формується коливання

$$u_{m1} = m_1 u (u_1 + u_2) = m_1 \cos(2\pi ft) [\cos(2\pi Nf_1 t) + \cos(2\pi Nf_2 t)], \quad (7)$$

де $f_1 = \frac{1}{N}(f - f_0)$, $f_2 = \frac{1}{N}(f + f_0)$.

В результаті, отримуємо

$$u_{m1} = \frac{1}{2} m_1 \cos(2\pi f_0 t) + \frac{1}{2} m_1 \cos(4\pi ft - 2\pi f_0 t) + \frac{1}{2} m_1 \cos(-2\pi f_0 t) + \frac{1}{2} m_1 \cos(4\pi ft + 2\pi f_0 t). \quad (8)$$

Смуговий фільтр F1 виділяє

$$u_{f1} = m_1 k_{f1} \cos(2\pi f_0 t). \quad (9)$$

На виході перемножувача M2 в режимі квадратора з'являється напруга

$$u_{m2} = m_2 u_{f1}^2 = m_2 m_1^2 k_{f1}^2 [\cos(2\pi f_0 t)]^2 = 0.5 m_2 m_1^2 k_{f1}^2 [1 + \cos(4\pi f_0 t)]. \quad (10)$$

З появою низькочастотної складової на виході фільтра F2 $u_{f2} = 0.5 m_2 k_{f2} m_1^2 k_{f1}^2$ вимикається опорне коливання з частотою Nf_2 , тобто $u_2 = 0$.

Напруга на виході перемножувача M1 з цього моменту буде визначатися як

$$u_{m1} = m_1 u_1 u = m_1 \cos[2\pi(f - f_0)t] \cos(2\pi ft) = 0.5 m_1 [\cos(2\pi f_0 t) + \cos(4\pi ft - 2\pi f_0 t)]. \quad (11)$$

Фільтр F1 виділяє напругу:

$$u_{f1} = 0.5m_1k_{f1} \cos(2\pi f_0 t). \quad (12)$$

На виході перемножувача МЗ з'являється напруга:

$$u_{m3} = m_3 u_{f1} u_0 = 0.5m_3m_1k_{f1} \cos(2\pi f_0 t) \cos(2\pi f_0 t) = 0.25m_3m_1k_{f1} [1 + \cos(4\pi f_0 t)]. \quad (13)$$

З появою на виході ВИХ.PLL напруги $u_{f3} = 0.25m_3m_1k_{f1}$ починає працювати ФАПЧ і стабілізується частота f генератора НВЧ діапазону.

Коли при $t = t_0$ частота НВЧ коливання має ненульове, але маленьке відхилення, тобто дорівнює $f + \Delta f$, напруги в характерних точках моделі (рис. 5) такі:

$$u_{m1} = m_1 \{ \cos[2\pi(f - f_0)t] + \cos[2\pi(f + f_0)t] \} \cos[2\pi(f + \Delta f)t] = 0.5m_1 [\cos(2\pi\Delta f t + 2\pi f_0 t) + \cos(4\pi f t + 2\pi\Delta f t - 2\pi f_0 t) + \cos(-2\pi\Delta f t + 2\pi f_0 t) + \cos(4\pi f t + 2\pi\Delta f t + 2\pi f_0 t)]; \quad (14)$$

$$u_{f1} = \frac{1}{2} m_1 k_{f1} [\cos(2\pi\Delta f t + 2\pi f_0 t) + \cos(-2\pi\Delta f t + 2\pi f_0 t)]; \quad (15)$$

$$\begin{aligned} u_{m2} &= m_2 u_{f1}^2 = 0.25m_2m_1^2k_{f1}^2 [\cos(2\pi\Delta f t + 2\pi f_0 t) + \cos(-2\pi\Delta f t + 2\pi f_0 t)]^2 = \\ &= 0.25m_2m_1^2k_{f1}^2 [0.5 \cos(4\pi\Delta f t + 4\pi f_0 t) + 1 + \cos(4\pi\Delta f t) + \cos(4\pi f_0 t) + \\ &+ 0.5 \cos(-4\pi\Delta f t + 4\pi f_0 t)]; \end{aligned} \quad (16)$$

$$u_{f2} = 0.25m_2m_1^2k_{f1}^2k_{f2} [1 + \cos(4\pi\Delta f t)]. \quad (17)$$

Після того, як відключається u_2 :

$$u_{m1} = m_1 u_1 u = m_1 \cos[2\pi(f - f_0)t] \cos[2\pi(f + \Delta f)t] = 0.5m_1 [\cos(2\pi\Delta f t + 2\pi f_0 t) + \cos(4\pi f t + 2\pi\Delta f t - 2\pi f_0 t)]; \quad (18)$$

$$u_{f1} = 0.5m_1k_{f1} \cos(2\pi\Delta f t + 2\pi f_0 t); \quad (19)$$

$$\begin{aligned} u_{m3} &= m_3 u_{f1} u_0 = 0.5m_3m_1k_{f1} [\cos(2\pi f_0 t) \cos(2\pi\Delta f t + 2\pi f_0 t)] = 0.25m_3m_1k_{f1} \times \\ &\times [\cos(2\pi\Delta f t) + \cos(4\pi f_0 t + 2\pi\Delta f t)]; \end{aligned} \quad (20)$$

$$u_{f3} = 0.25m_3m_1k_{f1}k_{f3} \cos(2\pi\Delta f t). \quad (21)$$

В результаті проведеного аналізу математичної моделі отримані основні формули, які зв'язують вихідні напруги фільтра ФАПЧ і фільтра після квадратора з вхідними опорними напругами і з коливанням НВЧ генератора, частота якого стабілізується.

Комп'ютерне моделювання. Структура комп'ютерної моделі наведена на рис. 6. Мета дослідження – отримання часових залежностей напруги $u_{ВИХ}$ смугового фільтра СФ2 після квадратора ХЗ на перемножувачі АП2 при різних співвідношеннях опорних частот Nf_1, Nf_2 для випадку, коли НВЧ генератор Е1 змінює лінійно в часі частоту f . Коливання від генераторів V1, V2 з частотами Nf_1, Nf_2 об'єднуються суматором С з коефіцієнтом передачі одиниця і подаються на опорний вхід змішувача Х1 на перемножувачі АП1.

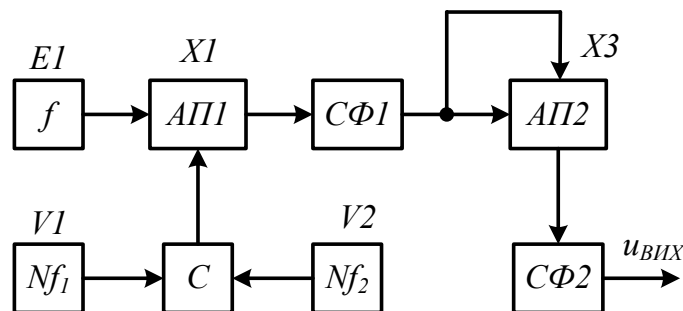


Рис. 6. Комп'ютерна модель

Схема (рис. 7), яка досліджувалася, відповідає комп'ютерній моделі (рис. 6). З метою зменшити похибку обчислень всі частоти генераторів і характерні частоти фільтрів зменшені в мільйон разів, а час дослідження збільшено в мільйон разів. Генератор E1 за 10 с змінює частоту від 48.75 кГц до 51.25 кГц зі швидкістю 0.25 кГц/с. Опорна частота Nf_1 генератора V1 дорівнює 49.5 кГц, а частота Nf_2 генератора V2 – 50.5 кГц. Тобто стабілізується частота генератора E1 50 кГц. Фільтр СФ1 L1, L2, C1 - C3 має центральну частоту $f_0 = 500$ Гц і смугу пропускання 100 Гц. Смуга пропускання фільтра СФ2 на елементах R3, C4, R6, C5 – (5...50) Гц. Узгоджуючі підсилювачі X2, X4 мають одиничний коефіцієнт передачі. Коефіцієнт множення

$$N = 2f_0 / (f_2 - f_1) = 2f / (f_1 + f_2) = 5, \quad (22)$$

тобто $f_1 = 9.9$ кГц; $f_2 = 10.1$ кГц.

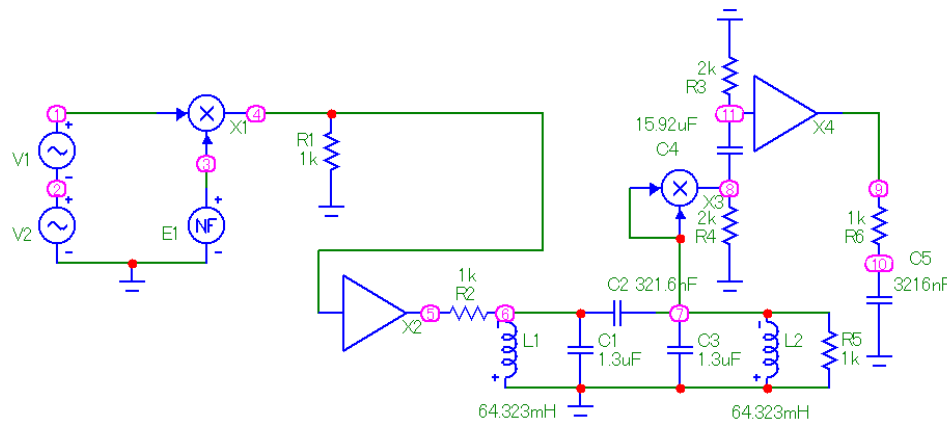


Рис. 7. Схема, яка досліджується

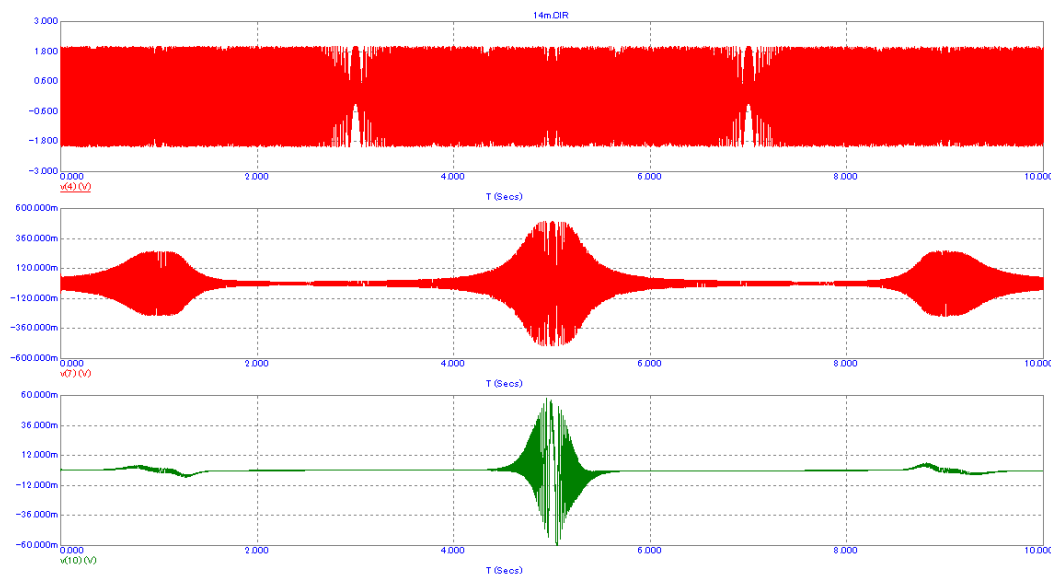


Рис. 8. Перехідні процеси при стабілізації частоти

Перехідні процеси у схемі (рис. 7) складаються з напруги у вузлі 4 на виході перемножувача X1, з вузлової напруги 7 на виході смугового фільтра і вихідної напруги у вузлі 10 (рис. 8). Наявність чіткого радіоімпульсу вихідної напруги при переході частоти f генератора E1 через 50 кГц свідчить про те, що саме ця частота стабілізуватиметься петлею ФАПЧ.

Якісно такі ж часові залежності отримаємо для випадку, коли генератор E1 за 10 мкс змінює частоту від 48.75 ГГц до 51.25 ГГц зі швидкістю 0.25 ГГц/мкс. Опорні частоти f_1, f_2 дорівнюють 9.9 ГГц і 10.1 ГГц, відповідно. Стабілізується частота генератора E1 50 ГГц. Фільтр СФ1 (рис. 6) матиме центральну частоту 500 МГц зі смугою пропускання 100 МГц, а смуга пропускання фільтра СФ2 збільшиться до (5...50) МГц.

Розраховані перехідні процеси для стабілізації частоти 41.7 кГц або в перерахунку 41.7 ГГц (рис. 9). Можна зробити висновок, що вихідний радіоімпульс відсутній тобто ФАПЧ не спрацює і режим стабілізації частоти відсутній.

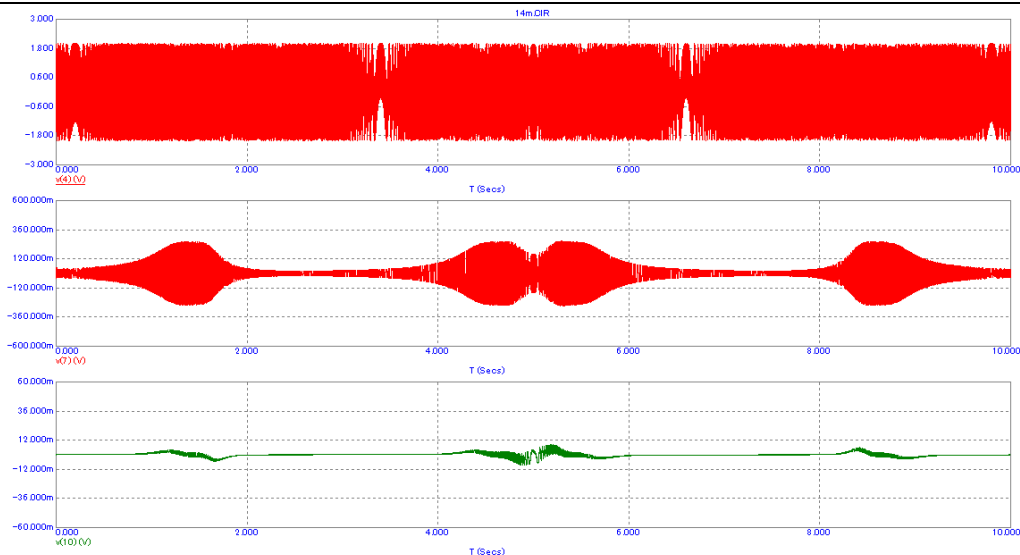


Рис. 9. Перехідні процеси за відсутності стабілізації частоти

Можна отримати подібні рис. 9 залежності для частоти стабілізації, яка виходить у той чи інший бік за межі зміни частоти генератора Е1. Ці залежності не будуть містити радіоімпульс, а це означає, що режим стабілізації відсутній.

Комп'ютерне моделювання підтвердило, що будь-якій частоті f НВЧ генератора відповідають такі дві близьких опорних частоти f_1, f_2 , які для заданого коефіцієнта множення N дадуть на виході перетворювача суму двох коливань частотою $f_0 = 0.5N(f_2 - f_1)$, причому $f_0 < 0.25f_1$ або $f_2 - f_1 < f_1 / 2N$.

У запропонованому генераторі шляхом правильного формування опорних частот можна стабілізувати за допомогою ФАПЧ вихідну частоту.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Запропоновано структурну схему високостабільного діапазонного НВЧ генератора та пояснено його роботу. Виконано аналіз математичної моделі НВЧ генератора. Отримані формули взаємозв'язку напруг окремих вузлів з вихідним коливанням генератора. Комп'ютерне моделювання підтвердило працездатність пристрою – в НВЧ генераторі можна стабілізувати вихідну частоту.

Стабільність вузла опорних частот визначає відносну похибку встановлення частоти НВЧ генератора – 10^{-6} і краще. Його максимальна частота – 100 ГГц і більше, визначається параметрами і динамічними властивостями автогенератора, стробоскопічного змішувача та генератора гармонік. Якісний генератор гармонік забезпечить низький рівень фазового шуму вихідного коливання.

Література

1. Акер Э. Почему интегрированный синтезатор с переносом частоты в петле обратной связи обеспечивает наименьший уровень фазового шума / Э Акер // Электроника НТБ. – 2021. – № 10. – С. 94–99. – DOI: 10.22184/1992-4178.2021.211.10.94.99.
2. Бельчиков С. Фазовый шум: как спуститься ниже –120 дБн/Гц на отстройке 10 кГц в диапазоне частот до 14 ГГц или борьба за децибелы / С. Бельчиков // Компоненты и технологии. – 2009. – № 5. – С. 139–146.
3. Білик О. Б. Високостабільний мікрохвильовий генератор з помножувачем частоти в петлі ФАПЧ / О.Б. Білик, С. П. Кононов // Міжнародна науково-технічна конференція " Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2021) ", Вінниця, 03-05 листопада, 2021 р. – 2021.

References

1. Akar E. Pochemu integrirovannyj sintezator s perenosom chastoty v petle obratnoj svyazi obespechivaet naimenshij uroven fazovogo shuma / E Akar // Elektronika NTB. – 2021. – № 10. – С. 94–99. – DOI: 10.22184/1992-4178.2021.211.10.94.99.
2. Belchikov S. Fazovyy shum: kak spustitsya nizhe –120 dBn/Gc na otstrojke 10 kGc v diapazone chastot do 14 GGc ili borba za decibely / S. Belchikov // Komponenty i tehnologii. – 2009. – № 5. – С. 139–146.
3. Bilyk O. B. Vysokostabilnyi mikrokhvylovyy henerator z pomnozhuвачem chastoty v petli FAPCh / O.B. Bilyk, S. P. Kononov // Mizhnarodna naukovu-tekhnichna konferentsiia " Suchasni problemy infokomunikatsii, radioelektroniky ta nanosystem (SPIRN-2021) ", Vinnytsia, 03-05 lystopada, 2021 r. – 2021.

БУРБЕЛО М. Й.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4510-2911>e-mail: burbelomj@gmail.com

ЛЕБЕДЬ Д. Ю.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7482-9741>e-mail: 4e15b.lebyd@gmail.com

ЛЕЩЕНКО О. Р.

Вінницький національний технічний університет

e-mail: sasha.leshchenko@gmail.com

ОПТИМІЗАЦІЯ ЧАСУ ЗАРЯДУ/РОЗРЯДУ КОНДЕНСАТОРІВ АКТИВНОГО ФІЛЬТРА ПІД ЧАС КОЛИВАНЬ НАПРУГИ

Розроблено регулятор напруги на конденсаторах для схеми керування паралельним активним фільтром на основі dq-теорії з блоком ковзного усереднення струму в колі керування струмом i_d . Він містить блок затримки, цифровий фільтр нижніх частот першого порядку FIR або IIR (в залежності від варіанту розглянутої схеми) та блок «sgn», що стабілізує вихідний сигнал. Схему керування напругою на конденсаторі можливо реалізувати повністю в цифровому варіанті обробки сигналу та використовувати замість аналогового PID регулятора, що набагато ефективніше за необхідності адаптації схеми до режиму навантажень. Більшість аналогових фільтрів страждають від фазових спотворень, коли сигнали на різних частотах затримуються на різну величину. Хоча це все ще присутнє в цифрових IIR-фільтрах. FIR-фільтри зазвичай розроблені як «лінійна фаза», що означає, що фільтр не має фазових спотворень. Фазові спотворення виникають через те, що сигнали різної частоти затримуються по-різному при перетині фільтра. Для IIR фільтрів необхідно введення додаткового коефіцієнта, який буде регулювати групову затримку, протягом якої фільтр затримуватиме сигнал певної частоти. Якщо ви робите те ж саме для FIR-фільтра, ви побачите пряму горизонтальну лінію, це означає, що всі сигнали затримуються на однакову величину, що добре та забезпечить кращу якість сигналу. Блок «sgn» не впливає на процес підтримання напруги на конденсаторах та швидкість перехідних процесів, його роль полягає у посиленні компенсаційної здатності регулятора напруги за допомогою фільтрації цифрового сигналу. Вибраний фільтр за допомогою автоматичної стабілізації напруги на конденсаторі забезпечує стабільний процес заряду/розряду конденсатора і високий рівень компенсації вищих гармонік без значної додаткової генерації активної потужності в мережу. При використанні в контексті аналогових систем реального часу цифровий фільтр іноді має проблематичну затримку (різниця в часі між входом і виходом), що пов'язано з аналого-цифровим та цифро-аналоговим перетворенням та згладжуванням. Показано, що за допомогою оптимізації часу заряду/розряду конденсатора силового активного фільтра можна досягти мінімальної тривалості перехідного процесу за мінімальних значень гармонічних спотворень.

Ключові слова: електрична мережа, вищі гармоніки, реактивна потужність, силовий активний фільтр, регулятор напруги, блок затримки, цифровий фільтр.

Mykhailo BURBELO, Denys LEBED, Oleksandr LESHCHENKO

Vinnytsia National Technical University

OPTIMIZATION OF CHARGE / DISCHARGE TIME OF ACTIVE FILTER CAPACITORS DURING VOLTAGE FLUCTUATIONS

A voltage regulator on capacitors has been developed for the control circuit of a parallel active filter based on dq-theory with a block of sliding averaging current in the current control circuit i_d . It contains a delay unit, a digital low-pass filter of the first order FIR or IIR (depending on the variant of the considered scheme) and the unit "sgn", which stabilizes the output signal. The voltage control circuit on the capacitor can be implemented entirely in digital signal processing and used instead of the analog PID controller, which is much more effective if you need to adapt the circuit to the load mode. Most analog filters suffer from phase distortion when signals at different frequencies are delayed by different amounts. Although it is still present in digital IIR filters. FIR filters are usually designed as a "linear phase", which means that the filter has no phase distortion. Phase distortions occur due to the fact that signals of different frequencies are delayed differently when crossing the filter. For IIR filters, it is necessary to enter an additional factor that will regulate the group delay, during which the filter will delay the signal of a certain frequency. If you do the same for the FIR filter, you will see a straight horizontal line, which means that all signals are delayed by the same amount, which is good and will provide better signal quality. The unit "sgn" does not affect the process of maintaining the voltage on the capacitors and the speed of transients, its role is to enhance the compensatory capacity of the voltage regulator by filtering the digital signal. The selected filter, by automatically stabilizing the voltage on the capacitor provides a stable charge / discharge process of the capacitor and a high level of compensation of higher harmonics without significant additional generation of active power in the network. When used in the context of real-time analog systems, the digital filter sometimes has a problematic delay (input-output time difference) due to analog-to-digital and digital-to-analog conversion and smoothing. It is shown that by optimizing the charge / discharge time of the capacitor of the power active filter it is possible to achieve the minimum duration of the transient process with the minimum values of harmonic distortions.

Keywords: electric network, higher harmonics, reactive power, active power filter, voltage regulator, delay unit, digital filter.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Впровадження напівпровідникової техніки в електроенергетику загострило проблему якості електричної енергії у зв'язку зі збільшенням вищих гармонік струму і напруги. Такі пристрої, як тиристорні

регулятори напруги, керовані випрямлячі, перетворювачі частоти і автономні інвертори напруги генерують гармоніки, частоти яких перевищують 1 кГц.

Для покращення показників якості електричної енергії та зменшення впливу вищих гармонік все частіше використовують силові активні фільтри (САФ) [1, 2]. Ефективність роботи САФ за різко змінних навантажень значною частиною визначається автоматичним регулятором підтримання напруги на конденсаторах [3, 4].

В [5] розроблено пристрій регулювання напруги на конденсаторах, в якій поєднуються аналогова та цифрова реалізації.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є покращення якості електроенергії за рахунок підвищення швидкодії пристрою регулювання напруги на конденсаторах активного фільтра з використанням цифрової реалізації.

Результати досліджень

Система керування САФ для компенсації вищих гармонік та реактивної потужності була змодельована в середовищі *Simulink* пакету прикладних програм *Matlab* (рис. 1). Система керування складається з таких блоків: блоків прямого та зворотного перетворення струмів та напруг з системи фазних координат в систему координат миттєвих симетричних складових $abc/\alpha\beta$ та $\alpha\beta/dq$ [2], блока формування струму компенсації, регулятора напруги на конденсаторах.

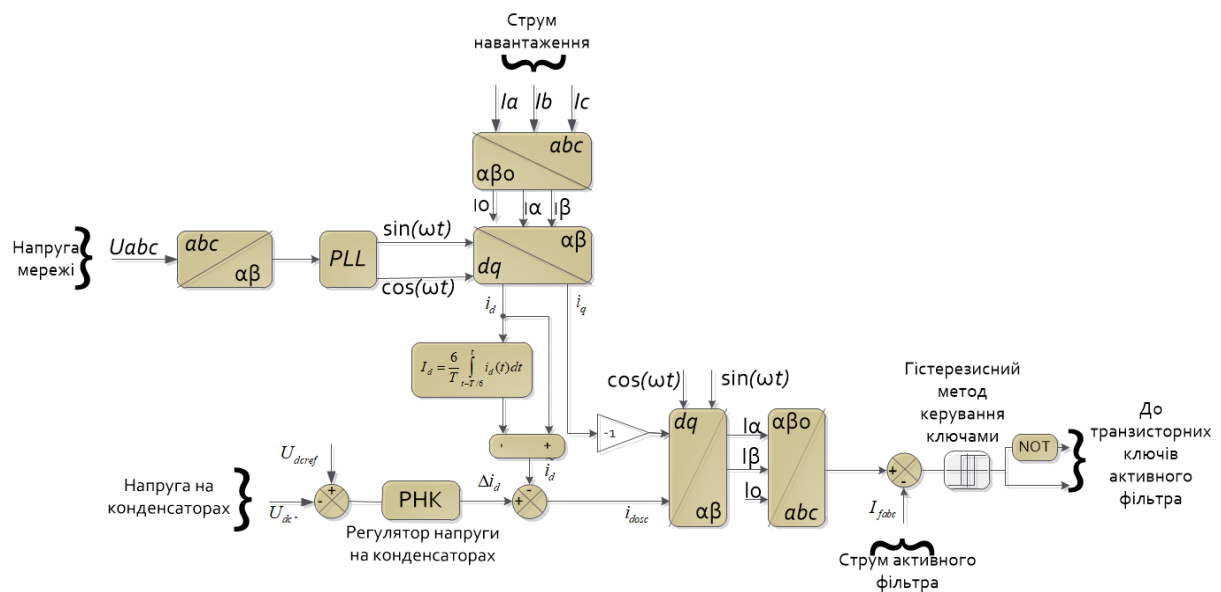


Рис. 1. Функціональна схема системи керування САФ

Для моделювання роботи САФ в режимі компенсації реактивної потужності використана модель з трифазним нелінійним навантаженням і додатковим трифазним навантаженням [6]. Характеристика елементів дослідної моделі: опір системи живлення $18.4+j17.1$ мОм, опір на стороні постійного струму нелінійного навантаження (випрямляч, схема Ларіонова) – $12+j1,256$ Ом, опір симетричного трифазного навантаження – $10+j10$ Ом, опір трифазного накиду навантаження – $5+j3$ Ом. Індуктивність, яка ввімкнена послідовно з фільтром $L = 2,2$ мГн. Два конденсатори, що ввімкнені послідовно та мають параметрами: ємність $C = 4000$ мкФ, напруга $u_{dc} = 300$ В, $u_{dcref} = 600$ В. Накід трифазного навантаження відбувається в момент часу 0,06 с, а скид – в момент часу 0,12 с.

На вхід блока зворотного перетворення струмів (рис. 1) поступає сигнал

$$i_{dosc}(t) = \Delta i_d(t) - i_d(t), \quad (1)$$

де $\Delta i_d(t)$ – значення приросту струму $i_d(t)$, що зумовлений відхилення напруги $U_{dc}(t)$ від заданого значення U_{dcref} ; $i_d(t)$ – складник пульсацій струму $i_d(t)$.

Визначення складника пульсацій струму здійснюється за допомогою виразу:

$$i_d(t) = i_d(t) - I_d(t), \quad (2)$$

де $I_d = \frac{6}{T} \int_{t-T/6}^t i_d(t) dt$ – усереднене значення струму $i_d(t)$.

Для реалізації регулятора напруги, було розглянуто два варіанти схеми керування на базі FIR та IIR фільтрів. Розроблену блок-схему першого варіанта регулятора напруги зображено на рис. 2. В першому варіанті використано елемент затримки, фільтр нижніх частот FIR та блок «sgn». Фільтр нижніх частот FIR (фільтр зі скінченною імпульсною характеристикою) має транспоновану структуру та затримку, яка

регулюється під час зростання та спадання сигналу за допомогою дискретного інтегратора часу. Додатковий блок «sgn» використовується для обмеження вихідного сигналу до одиничної амплітуди та покращення компенсації вищих гармонік.

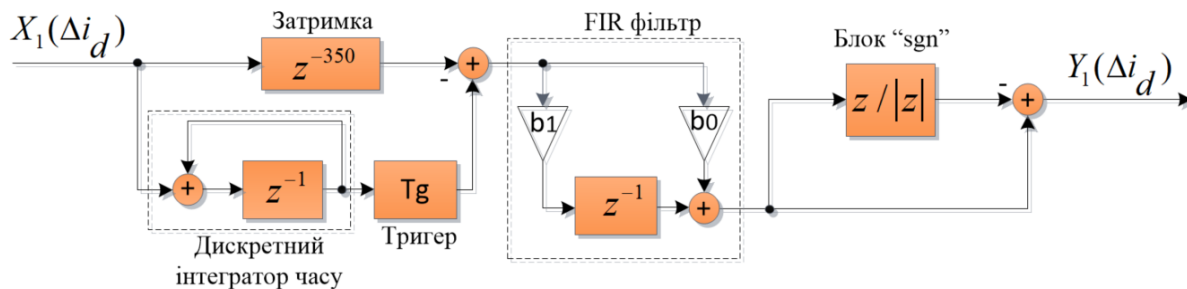


Рис. 2. Блок-схема першого варіанта регулятора напруги

В першому варіанті ефективність роботи регулятора напруги на конденсаторах залежить від налаштувань FIR фільтра. В результаті підбору коефіцієнтів $b_0 = -0,3$ та $b_1 = 1$ z – перетворення передаточної функції якого можна подати у вигляді

$$\frac{Y_{FIR}(z)}{X_{FIR}(z)} = \frac{-0,3 + z^{-1}}{1} = \frac{-0,3 \cdot (z - 3,333)}{z} \quad (3)$$

Швидкодія FIR фільтра є вищою, ніж IIR фільтра, тому він може краще розділяти частоти. Однією з найважливіших особливостей конструкції FIR фільтра є його автономна робота [7].

Передаточну функцію регулятора напруги для першого варіанта можна представити у вигляді

$$\frac{Y_1(z)}{X_1(z)} = \frac{(z - |z|) \cdot (0,3 \cdot z - 1) \cdot (z^{350} - z + 1)}{z^{351} \cdot |z| \cdot (z - 1)} \quad (4)$$

Затримка варіюється в залежності від коефіцієнта передачі фільтра в межах 350 – 260 тактів (що відповідає показнику степені 351 – 261), яка регулюється дискретним інтегратором часу та виконує функцію компенсатора перерегулювань сигналу шляхом зміни кількості тактів затримки. Тригер, що використовується для скидання станів до початкових умов, налаштований на зростаючий або спадний фронт [8].

Інтегратор, який регулює затримку, має нульову передачу на постійному струмі. Його передаточна функція має такий вигляд:

$$\frac{Y_{DTI}(z)}{X_{DTI}(z)} = \frac{1}{z - 1} = \frac{z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (5)$$

Отже, сигнал на виході інтегратора визначається як сума поточного вихідного сигналу з незначною затримкою та вхідного сигналу на попередньому кроці.

Функцію «sgn» можна представити у такому вигляді:

$$\text{sgn } z = \begin{cases} z / |z|, & z \neq 0; \\ 0, & z = 0. \end{cases} \quad (6)$$

При цьому

$$z / |z| = \cos \varphi + j \sin \varphi = e^{j\varphi}, \quad (7)$$

де $\varphi = \arg z$ – аргумент комплексного числа z .

Точка $z = 0$ є точкою розриву першого роду, оскільки межі зліва і справа від нуля дорівнюють, відповідно, +1 та -1. Вираз (7) є одним з можливих узагальнень функції сінусу на площині комплексних чисел.

При $z \neq 0$ результатом функції $\text{sgn } z$ є точка одиничного кола. Сенс цього узагальнення полягає в тому, щоб за допомогою радіус-вектора одиничної довжини показати напрямок на комплексній площині, що відповідає числу z . Цей напрямок у полярних координатах задає кут φ . Невизначений напрямок, що відповідає числу $z = 0$, виражається нульовим значенням функції.

На рис. 3 можна побачити результат використання функції «sgn» відносно вхідного сигналу.

У другому варіанті використано фільтр нижніх частот IIR (фільтр із нескінченною імпульсною характеристикою), який скидається по рівню затримки через блок дискретного інтегратора часу. В другому варіанті відмінність регулятора напруги від першого варіанта полягає в IIR фільтрі, який швидше реалізується і запускається, наприклад, у вбудованій системі реального часу.

Для даного IIR фільтра першого порядку була розроблена максимально ефективна структура, яка підтримує одиничну амплітудну характеристику, але з неможливістю підтримувати постійний коефіцієнт підсилення. Тому, для вирішення цієї проблеми було вирішено скидати фільтр по рівню затримки через дискретний часовий інтегратор, який ефективно підтримує коефіцієнт підсилення. В результаті підбору

коефіцієнтів $b_1 = 0,75$, $a_0 = 0,75$ та $a_1 = 1$ для z – перетворення, ІІР фільтр буде підтримувати одиничну амплітудну характеристику.

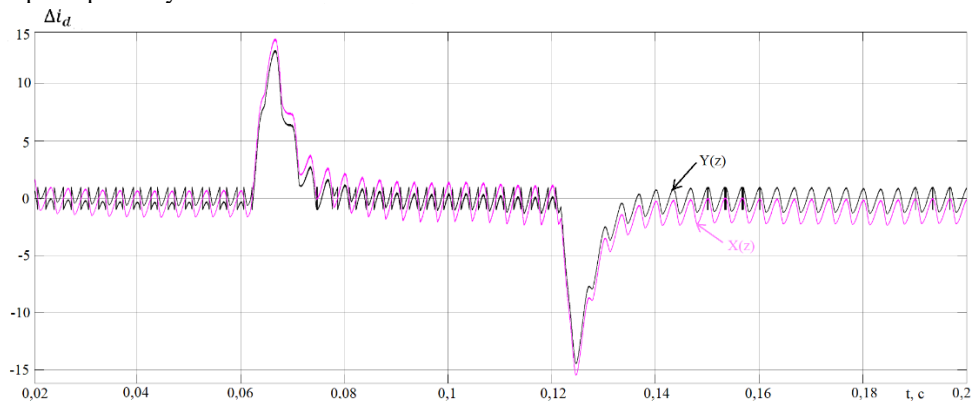


Рис. 3. Графік реакції сигналу Δi_d на роботу блоку «sgn»

$$\frac{Y_{IIR}(z)}{X_{IIR}(z)} = \frac{0,75 + z^{-1}}{1 + 0,75 \cdot z^{-1}} = \frac{(z + 1,333)0,75}{z + 0,75}. \quad (8)$$

Ще один момент, на який слід звернути увагу, що для ІІР фільтрів вищого порядку характерна нестійка робота системи, тоді як FIR фільтри завжди стабільні. ІІР фільтри мультифункціональні та мають параметри, які можна змінювати, щоб швидко змінити характеристики фільтра.

Імпульсна характеристика ІІР фільтра є загасаючою експонентою. Рівняння ІІР фільтра першого порядку можна записати у вигляді z -перетворення

$$\bar{y}_{IIR}[z] = (1 - \gamma) \cdot \bar{x}_{IIR}[z] + \gamma \cdot z^{-1} \cdot \bar{y}_{IIR}[z]. \quad (9)$$

де $0 \leq \gamma < 1$.

Перегрупуємо, щоб отримати передаточну функцію

$$G(z) = \frac{\bar{y}_{IIR}(z)}{\bar{x}_{IIR}(z)} = \frac{1 - \gamma}{1 - \gamma \cdot z^{-1}}. \quad (10)$$

ІІР фільтр має структуру прямої форми II та потребує лише N одиниць затримки, де N є порядком фільтра – потенційно вдвічі меншим, ніж для прямої форми I. Цю структуру отримують шляхом зміни порядку чисельника та знаменника прямої форми I, оскільки вони насправді є двома лінійними системами, і застосовується властивість комутативності. Блок-схему другого варіанта регулятора напруги показано на рис. 4.

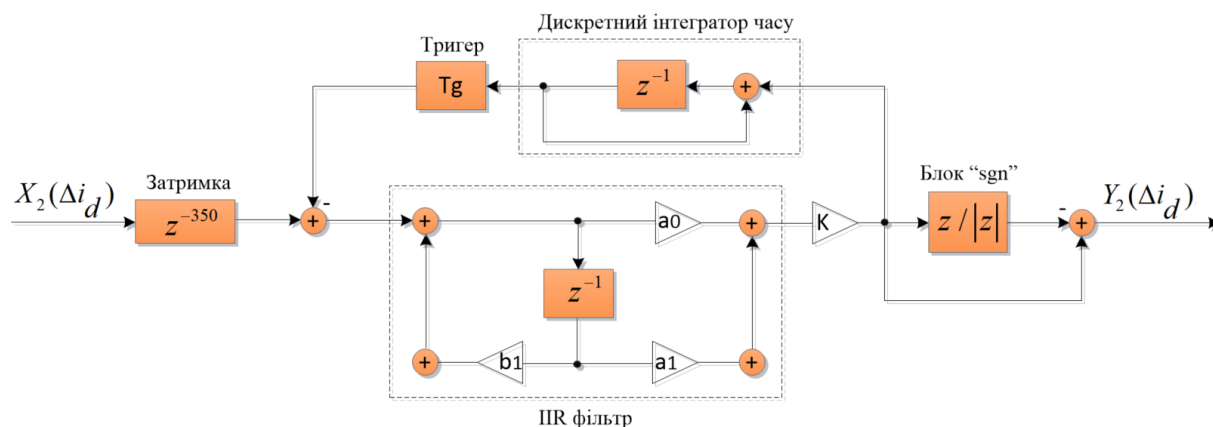


Рис. 4. Блок-схема другого варіанта регулятора напруги

Передаточну функцію замкнутого контуру регулятора напруги з ІІР фільтром в z – перетворенні можна представити у вигляді

$$\frac{Y_2(z)}{X_2(z)} = - \frac{56 \cdot |z| - 56 \cdot z + 21 \cdot z^2 \cdot |z| + 14 \cdot z^2 - 21 \cdot z^3 - 14 \cdot z \cdot |z|}{z^{350} \cdot |z| \cdot (10 \cdot z - 40 \cdot z^2 + 30)}. \quad (11)$$

Після дослідження першого та другого варіантів схеми керування регулятора напруги на конденсаторах експериментально встановлено можливість регулювання коефіцієнта підсилення ІІР фільтра та постійний коефіцієнт передачі FIR фільтра в межах 0,75 – 0,85 [9]. Це дозволяє ефективно компенсувати вищі гармоніки та забезпечувати мінімальне перерегулювання навантаження під час перехідного процесу (рис. 5).

Активний фільтр працює в режимі компенсації реактивної потужності та вищих гармонік. При переведенні його в режим лише компенсації вищих гармонік відбувається значне зростання компенсаційної здатності в порівнянні з попереднім режимом.

Для побудови графіків залежності зміни основних параметрів системи від часу моделювання потрібно: визначити активну і реактивну потужність, струм мережі та середньоквадратичне відхилення активної та реактивної потужності, яке можна знайти через їх ефективне значення на періоді.

$$P_e = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T p^2(t) dt}; \quad Q_e = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T q^2(t) dt}. \quad (12)$$

Щоб оцінити загальний рівень пульсацій потрібно знайти середньоквадратичні відхилення за допомогою виразу.

$$\sigma_p = \sqrt{P_e^2 - P^2}; \quad \sigma_q = \sqrt{Q_e^2 - Q^2}. \quad (13)$$

Ефективний період перехідного процесу є мінімальним для забезпечення максимальної швидкодії під час коливань напруги. Графіки для кожного з варіантів ідентичні з похибкою менше 1%.

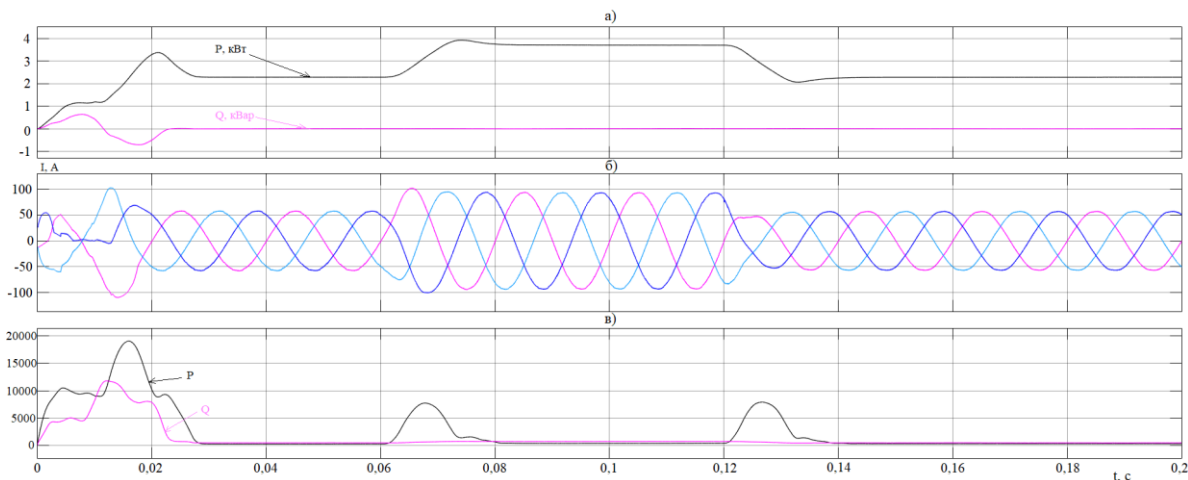


Рис. 5. Графіки зміни параметрів електричної мережі: а) дійсна активна та реактивна потужності після компенсації; б) струм мережі після компенсації вищих гармонік; в) середньоквадратичні відхилення активної та реактивної потужності під час зміни навантаження

Графік зміни напруги на конденсаторі на рисунку 6 однаковий для двох варіантів. З рисунку 6 можна зробити висновок про високу швидкість регулятора напруги при мінімальних коливаннях напруги на конденсаторі. Глибина провалу напруги на конденсаторі визначається ємністю конденсатора та може бути зменшена збільшенням ємності конденсатора, але за рахунок зменшення швидкодії та зростання похибки.

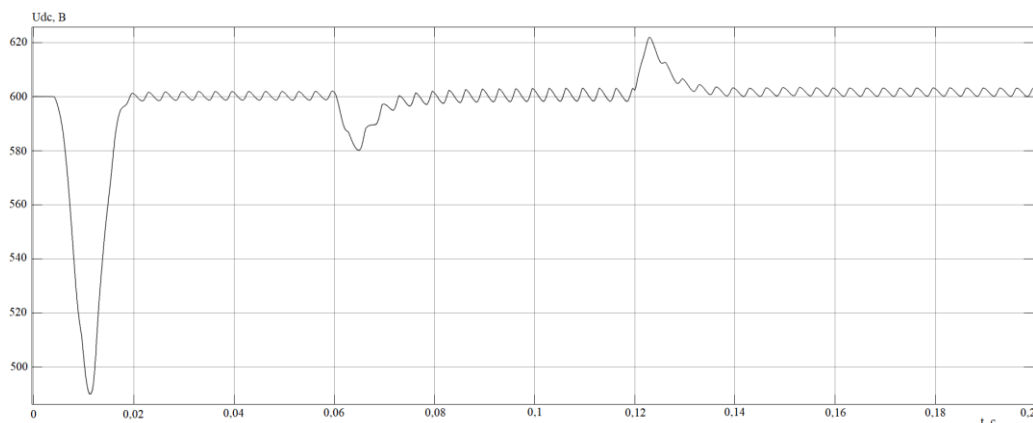


Рис. 6. Графік зміни напруги на конденсаторах

Під час моделювання були використані IGBT транзистори, які набагато легші в керуванні та гірші в якісних характеристиках. В малопотужних САФ можна використати MOSFET транзистори, що пропонують кращі якісні показники.

Результати моделювання при використанні обох фільтрів для компенсації реактивної потужності та вищих гармонік наведено в таблиці. Значення сумарного коефіцієнта компенсації гармонічних спотворень струму керується за допомогою коефіцієнта передачі кожного з фільтрів.

Результати моделювання при використанні обох фільтрів практично однакові (див. таблицю).

Таблиця 1

Результати моделювання САФ в режимі компенсації реактивної потужності та вищих гармонік

Значення фізичних величин для симетричного режиму	I_A	I_B	I_C
Амплітудні значення струмів мережі навантаження (А)	103,8	103,8	103,8
Коефіцієнт нелінійного спотворення струмів навантаження (%)	8,52	8,52	8,52
Амплітудні значення струмів мережі після компенсації (А) IIR	93,75	93,89	93,82
Коефіцієнт нелінійного спотворення струмів мережі (%) IIR	0,72	0,71	0,73
Амплітудні значення струмів мережі після компенсації (А) FIR	93,78	93,89	93,79
Коефіцієнт нелінійного спотворення струмів мережі (%) FIR	0,72	0,72	0,72

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розроблений регулятор напруги, що містить FIR або IIR фільтри, можна використовувати для оптимізації часу заряду/розряду конденсаторів за допомогою блоку затримки, яка регулюється інтегратором часу залежно від випадку та блоком «sgn», що стабілізує вихідний сигнал та зменшує амплітуди 5 та 7 гармонік, відповідно, в 4 та 6 разів. Для покращення компенсаційної здатності активного фільтра виконано налаштування блока ковзного усереднення струму на шосту гармоніку у разі симетричного навантаження, що забезпечує зменшення амплітуди 5 та 7 гармонік в два рази. Залежно від потреб виробництва є можливість вибору ефективнішого варіанта: 1) високо селективні IIR фільтри, які можуть бути реалізовані за допомогою конструкцій низького порядку та можуть працювати на високих швидкостях; 2) FIR фільтри, які зазвичай мають низький коефіцієнт та рівень помилок арифметичного округлення і добре визначений шум квантування для застосування в низьковольтних трифазних електричних мережах.

Література

1. H. Akagi, "Active harmonic filters", *Proceedings of the IEEE*, vol. 93, № 12, pp. 2128-2141, 2005.
2. H. Akagi, E. H. Watanabe, and M. Aredes, *Instantaneous power theory and applications to power conditioning*, Wiley-IEEE Press, pp. 400, 2007.
3. Мисак Т. В., Михальський В. М. Формування компенсаційного струму трифазного паралельного активного фільтра за допомогою різномісцевих ковзних режимів. *Технічна електродинаміка*. 2020. № 4. С. 29–34. ISSN 1607-7970.
4. Денисенко К. І., Кутрань І. С., Лесик В. О., Мисак Т. В. Збільшення швидкодії контуру слідкування за напругою накопичувального конденсатора трифазного паралельного активного фільтра. *Праці ІЕД НАН України*. 2020. Вип. 55. ISSN 1727-9895.
5. Бурбело М. Й., Кравець О. М., Лебедь Д. Ю. Підвищення точності регулювання напруги на конденсаторі активного фільтра. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, 2022, вип. 1, с. 28–34, Берез.
6. Бурбело М. Й., Лобода Ю. В., Лебедь Д. Ю. Система прямого керування струмом активного фільтра. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021, вип. 2, с. 69–75.
7. K. Ichige, M. Iwaki, and R. Ishii, "Accurate estimation of minimum filter length for optimum FIR digital filters", *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, pp. 1008-1016, vol. 47, 10 Oct. 2000, doi: 10.1109/82.877143
8. M. S. Anderson; S. Summerfield, "Power-time tradeoffs in digital filter design and implementation", *IEE Colloquium on Low Power Analogue and Digital VLSI: ASICS, Techniques and Applications*, 2-2 June 1995, doi: 10.1049/ic:19950795
9. Fred Taylor, *Digital Filters: Principles and Applications with MATLAB*, Wiley-IEEE Press, pp. 320, 2012.

References

1. H. Akagi, "Active harmonic filters", *Proceedings of the IEEE*, vol. 93, № 12, pp. 2128-2141, 2005.
2. H. Akagi, E. H. Watanabe, and M. Aredes, *Instantaneous power theory and applications to power conditioning*, Wiley-IEEE Press, pp. 400, 2007.
3. Mysak T. V., Mykhalskyi V. M. Formuvannya kompensatsiynoho strumu tryfaznogo paralelnoho aktyvnogo filtra za dopomohoiu riznotemповykh kovznykh rezhymiv. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2020. № 4. S. 29–34. ISSN 1607-7970.
4. Denysenko K. I., Kutran I. S., Lesyk V. O., Mysak T. V. Zbilshennia shvydkodii konturu slidkuvannia za napruhoiu nakopychuvannoho kondensatora tryfaznogo paralelnoho aktyvnogo filtra. *Pratsi IED NAN Ukrainy*. 2020. Vyp. 55. ISSN 1727-9895.
5. Burbelo M. Y., Kravets O. M., Lebed D. Yu. Pidvyshchennia tochnosti rehulivannia napruhy na kondensatori aktyvnogo filtra. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu*, 2022, vyp. 1, s. 28–34, Berez.
6. Burbelo M. Y., Loboda Yu. V., Lebed D. Yu. Systema priamoho keruvannia strumom aktyvnogo filtra. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu*. 2021, vyp. 2, s. 69–75.
7. K. Ichige, M. Iwaki, and R. Ishii, "Accurate estimation of minimum filter length for optimum FIR digital filters", *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, pp. 1008-1016, vol. 47, 10 Oct. 2000, doi: 10.1109/82.877143
8. M. S. Anderson; S. Summerfield, "Power-time tradeoffs in digital filter design and implementation", *IEE Colloquium on Low Power Analogue and Digital VLSI: ASICS, Techniques and Applications*, 2-2 June 1995, doi: 10.1049/ic:19950795
9. Fred Taylor, *Digital Filters: Principles and Applications with MATLAB*, Wiley-IEEE Press, pp. 320, 2012.

Рецензія/Peer review : 11.07.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

ВЕРЕЧУК О. А.

Одеський національний технологічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-5121-571X>e-mail: olena.verechuk@gmail.com

КАМЕНЕВА Н. В.

Одеський національний технологічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-5768-439X>e-mail: kamenevavin@gmail.com

СТВОРЕННЯ СЕНСОРНИХ ПРОФІЛІВ ВИН З СОРТУ РИСЛІНГ РЕЙНСЬКИЙ КРАЇН ЄВРОПИ, АМЕРИКИ І ОКЕАНІЇ ТА ЇХ ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

У ході досліджень створено сенсорні профілі вин з сорту Рислінг Рейнський країн Європи, Америки і Океанії та їх порівняльна характеристика, проаналізовано ситуацію з виробництвом та споживанням вин з сорту Рислінг Рейнський в Україні; проведено відбір зразків вин з сорту Рислінг Рейнський, вирощених в Україні, Європи та країнах Нового Світу; розроблено дегустаційні протоколи та створити сенсорні профілі вина з сорту Рислінг, згідно з міжнародними термінами сенсорного аналізу; проведено порівняння сенсорних профілів вин з сорту Рислінг Рейнський та виявлено унікальний сенсорний профіль вітчизняних вин з сорту Рислінг Рейнський. У ході проведення експерименту застосували методи сенсорного аналізу дескриптно-профільний та баловий методи.

Ключові слова: вино, Рислінг Рейнський, дескриптор, сенсорний профіль, баланс.

Olena VERECHUK

Odesa National University of Technology

Natali KAMENEVA

Одеський національний технологічний університет

CREATION OF SENSORY PROFILES OF RIESLING WINES FROM EUROPE, AMERICA AND OCEANIA AND THEIR COMPARATIVE CHARACTERISTICS

Effective work at the winery is possible only if the final result is taken into account. Riesling wines have a different organoleptic profile depending on the country of cultivation, zone, climate and weather conditions. High temperatures affect the high concentration of TDN in the berry, more moderate forms herbal, fruit and mineral descriptors. Of course, work at the winery is also important. This work presents the results of the research of seven Riesling wines from different countries of the world: France, Italy, Germany, Austria, Ukraine, New Zealand and Australia. All wines are from the same harvest year and are made using similar technology. Looking at the possible difference in grape clones, terroir and yeast, the author understands the discrepancy in descriptors, but the main criteria for wine quality are objective indicators. The most important indicators of the quality of wines are balance and aftertaste, the whole range of descriptors and indicators of taste, in the end, should answer two questions - how good is the balance and long aftertaste. The higher the score, the higher the quality of the product. The analysis carried out by the author shows that the Riesling wines produced in New Zealand, Austria and Germany received the highest indicators of balance and aftertaste. These same samples received the highest points according to the scoring method, in addition, the first two have the highest ratings in the categories "aroma intensity" and "taste intensity". Another important criterion of wines from the Riesling variety - minerality - is also the largest in the above three wines. The Ukrainian sample turned out to have good descriptors of berry, floral and stone aromas, and has good acidity. These data may indicate the peculiarity of the Ukrainian terroir, but still require additional research. The obtained data can be used to improve the organoleptic profile of Riesling wines grown in Ukraine.

Keywords: wine, Riesling, descriptor, sensory profile, balance, aftertaste.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Кожний сорт винограду має свої унікальні властивості, які передає вино. За цими ознаками, які виникають внаслідок як ґрунтово-кліматичних відображень, так і внаслідок праці виноробів, кінцевий споживач має можливість обрати саме те, що йому до вподоби. На вина, зокрема з сорту Рислінг Рейнський, мають вплив такі кластери факторів як умови на винограднику (клімат, вологість, кількість сонця, кількість тепла, ґрунти, розташування виноградника відносно сторін світу); збір врожаю (зрілість ягід, кількість цукру та кислот, якість ягід, спосіб збору врожаю, методи та час транспортування); технологія (місткості, дріжджі, наявність гребенів, ЯМЗ, технологія сюрлі, витримка в місткостях, витримка в пляшці тощо). Важливим фактором є те, що вина з сорту Рислінг Рейнський не витримуються в нових дубових бочках [1].

Очевидно, щоб отримати релевантні результати, вина мають мати однакову, або близьку технологію виробництва. Подібного дослідження на даний час в світі не існує, крім того, мало є робіт, де було б освітлено порівняльні характеристики українських вин з світовими аналогами. Дане дослідження цікаве тим, що дасть відповіді як на прикладні запитання (положення українських вин з сорту Рислінг Рейнський серед світових аналогів та розробка маркетингових планів для вітчизняних виробників для знайомства зі споживачем та підвищення рівня продажів), так і на наукові запитання, такі як «Чим саме відрізняються», «Які причини різниці?», «Які методи впровадити для підвищення якості?» та т.п.

Дослідження з порівняння сенсорних профілів вин України з іншими країнами – це новий погляд для чинних фундаментальних знань, які допоможуть при розв'язанні питань з якості на розпишуть подальші кроки виноробства України.

Аналіз останніх досліджень

Вино народжується на винограднику і цю аксіому неможливо вирішити інакше. В вас або є потрібні умови, або Ріслінг – не ваш вибір. Зупинимось на найважливіших – для успішного дозрівання орієнтація виноградника повинна бути південно-східна або південно-західна, сонячних днів повинно бути не менше 150, ґрунти мають бути мілководними, крем'яної структури, зими з температурами не більше 10 °C [2].

Стиль Ріслінга, перш за все, починається з протоколу на виноробні – чи збирається виноград за один прохід чи кілька разів (щоб відокремити плоди різного ступеню зрілості), наскільки виноград є дозрілим і коли його збирають, чи пресують виноград разом з гребенем, як його подрібнюють, чи присутній ботритис і в якій кількості, освітлюється сік перед фільтрацією чи після, підігрівається середа ферментації чи охолоджується, який контакт сусли зі шкіркою, чи переривається ферментація, чи додається щось у вино для зміни профілю [3].

Сенсорний профіль вин з сорту Ріслінг Рейнський узагальнено описують багато авторів. Наприклад, опис первинних ароматів Ріслінга – жовтий персик, лайм, груша, грейпфрут, абрикос, чорна смородина, трави, прянощі, квіти, вторинних – тост та бітум (дескриптор для TDN – 1,1,6-триметил-1,2-дигідронафталін) [1].

У 2022 році проведено дослідження, де виявлено, що кількість молекул TDN і, як наслідок проява третинних ароматів, прямо пропорційні кількості сонячного світла на винограднику протягом періоду дозрівання ягід. Крім того, більший показник вищезгаданих молекул був у ягід, зібраних з виноградників з високою експозицією [4].

Відомий M.W. Jackson [5] у 2019 році написав книгу, де основним описом для того чи іншого сорту винограду є сукупність солодкості, танінів та кислотності. На цього вченого думку, Ріслінг – це сорт з яскравою кислотністю, яка є його фундаментальною рисою. Його кислотність, на відміну від багатьох інших сортів має вертикальну структуру і відчувається через все тіло вина. Інші його параметри - фруктовість, цукор, алкоголь – начебто кружляють навколо кислотної структури.

Також є чимало дослідів, де приділяється увага сенсорному аналізу витриманих Ріслінгів, де простежується динаміка розвитку та оцінюють якісні показники саме українських вин [6].

Формулювання цілей статті

Метою наукової роботи є: створення сенсорних профілів вин з сорту Ріслінг Рейнський країн Європи, Америки і Океанії та їх порівняльна характеристика.

Для вирішення мети поставлені завдання: проаналізувати ситуацію з виробництвом та споживанням вин з сорту Ріслінг Рейнський в Україні; провести відбір зразків вин з сорту Ріслінг Рейнський, вирощених в Україні, Європи та країнах Нового Світу; розробити дегустаційні протоколи та створити сенсорні профілі вина з сорту Ріслінг, згідно з міжнародними термінами сенсорного аналізу [7]; порівняти сенсорні профілі вин з сорту Ріслінг Рейнський та знайти унікальний сенсорний профіль вітчизняних вин з сорту Ріслінг Рейнський та зони його вирощування для подальшого виробництва.

У ході проведенні експерименту застосували методи сенсорного аналізу дескрипторно - профільний та баловий методи [8, 9]. Для дескрипторно – профільного методу розроблена 10-тибальна шкала, для балового методу використана 100-бальна система оцінок згідно з міжнародної організації OIV. Дослідження проведено дегустаційною комісією у кількості 12 експертів згідно з міжнародних вимог [10]. Для складання сенсорного профілю використали чинну термінологію та еталонні зразки, що дозволило нам використовувати накопичений досвід експертів.

Об'єктами досліджень є зразки столових білих вин: Hugel, Франція; St. Mihael Eppan, Італія; Loimer, Австрія; Nik Weis, Німеччина; Framingham, Нова Зеландія; Peter Lehman, Австралія; Chateau Chizay, Україна.

Виклад основного матеріалу

До війни в Україні склалися сприятливі умови для розвитку виноробства та імпорту вина. Звичайно, були й свої складності. Аналізую аспекти розвитку виноробства на Україні, можливо відмітите наступні позитивні та негативні рухи.

Позитивні рухи на макрорівні. Україна історично винна країна, наші нащадки вирощували виноград та робили з нього вино з давніх часів, тож повернутися до вживання вина нам (після радянської спадщини з її сухими законами і специфічним поглядом на виноробство) буде набагато легше, ніж скажемо, країнам де століттями вживали виключно міцні напої. На ринку України з'явилися професійні оператори, які вкладають зусиль в освіту кінцевого споживача і крім цього завозять широкий асортимент імпортного якісного вина. Безумовно це створює вибагливого покупця і для вітчизняного виробника та не може не позначитися на якості українського продукту. В Україні, на відміну від багатьох європейських країн, дуже популярна та розвинута професія сомельє. З одного боку своїм розвитком вона зобов'язана людям, які стояли на її чолі ще в кінці 90-х минулого століття (від імпортерів, які підтримували сомельє, до керівників шкіл, які вкладалися в рівень їх знання). З другої - якісні продукти та аграрна спрямованість країни призвели до росту ресторанної сфери. З третьої сторони українці завжди любили не просто поїсти і випити, а смакувати. Тож кожен ресторан с більш ніж 40 позицій у винній карті став запрошувати на роботу сомельє. Вже 3 роки в Україні працює комітет по найменуваннях за походженням, яких чимало зробив і для винних найменувань.

Негативні рухи. Досі немає регулювання на законодавчому рівні, яке б забезпечувало виновиробникам гідні умови для конкуренції. Через відсутність дотацій ціни на кінцевий продукт не витримує ніякої конкуренції з закордонними аналогами. Низька покупна спроможність українців робить невідповідними експерименти з пошуком земель, клонів, технологій та іншого для виробництва дорогих вин. З 24.02.2022 до цих причин додалася війна, яка не тільки зруйнувала досягнення останніх десятиріч, але й ставить під сумнів майбутні перспективи.

У 2014 році споживання імпортованих білих вин до червоних становило 60 на 40, тобто на кожні шість куплених пляшок з білим вином продажі червоного становили всього чотири пляшки. Така статистика не новина, загальні світові тенденції розвитку смаків вина іде за схемою від солодкого до сухого, від білого до червоного та від ароматного до нейтрального. Тобто солодкі білі ароматні вина на початку розвитку в винній культурі будуть мати найбільший попит [12].

На сьогодні в Україні представлений імпорт вин з сорту Рислінг Рейнський з 11 країн та більш як 50 ТМ. Найбільшим в кількісному еквіваленті є вина з ціною до 250 грн, найбільшим каналом збуту – національні мережі (на основі даних семи компаній лідерів ринку за 2020 рік).

В ході сенсорних досліджень проаналізовано ряд виробників України, які виробляють вина з сорту Рислінг Рейнський, саме : Шабо, Колоніст, Винхол Оксамитне, Болградський виноробний завод, Vinaria, Koblevo, Інкерман, Трубецькой, Вина Гулієвих, Beukush, Курінь, Мар'ян Шевченко, Клара Марсала, Шато Чизай, Cotnar, Карл Шоша, Василь Надя, Muska, Bohdans winery, Old Town, Віталій Маланчук, Григорій Куліниченко, Wine Idea, Korus wine, Дрюківські вина, Наровило.

Попри усі складності з проведеного аналізу, виявлено, що у вин з сорту Рислінг Рейнський є великі перспективи як для вирощування, так і для попиту. Найбільшу дегустаційну оцінку – 91,5 бала отримав Зразок №1, виробника країни Нова Зеландія (таблиця 1). Вино відрізняється інтенсивністю аромату, найдовшим післясмаком та найвищим рівнем балансу (рис. 1).

Таблиця 1

Сенсорна оцінка вин з сорту Рислінг Рейнський за допомогою балового методу

Країни	Нова Зеландія	Австрія	Германія	Австралія	Італія	Франція	Україна
№ зразка	1	2	3	4	5	6	7
Назва зразка	Framingham	Loimer	Nik Weis	Piter Lehman	St. Mihael Eppan	Hugel	Chateau Chizay
Бали	91,5	89	87,9	87,7	86,9	86,3	82,5

Вино Австрії від виробника Loimer отримало 89 балів (таблиця 1). Це самий мінеральний зразок з високим рівнем інтенсивності ароматів та смаків (рис. 2). Від лідера його відрізняє менш довгий післясмак. Зразок № 3 отримав 87,9 бала (таблиця 1). Германський Рислінг від Weis відрізняється від фаворитів меншим рівнем інтенсивності дескрипторів, більш високим цукром та нижчим рівнем балансу (рис. 3).

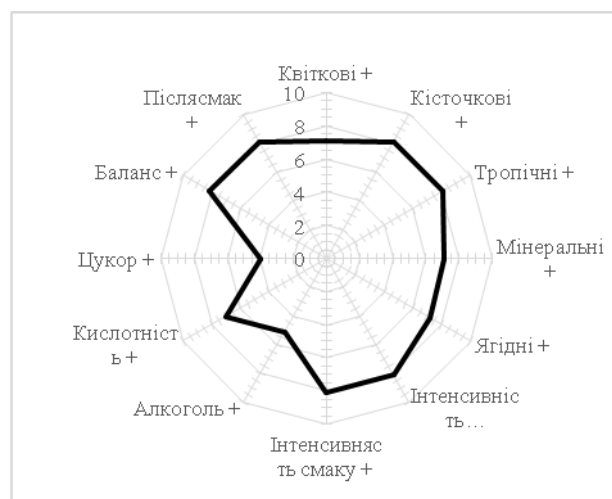


Рис. 1. Сенсорний профіль Riesling Framingham, Нова Зеландія



Рис. 2. Сенсорний профіль Riesling Nik Weis, Австрія

Рислінг від Lehman з Австралії під номером 4 має 87,7 бала (таблиця 1). Дві десяті бала він втратив, в основному через трохи нижчий рівень балансу, ніж у німецького аналога (рис. 4). Італійський зразок від виробника St. Mihael Erpan отримав 86,9 балів (таблиця 1).



Рис. 3. Сенсорний профіль Riesling Nik Weis, Германия

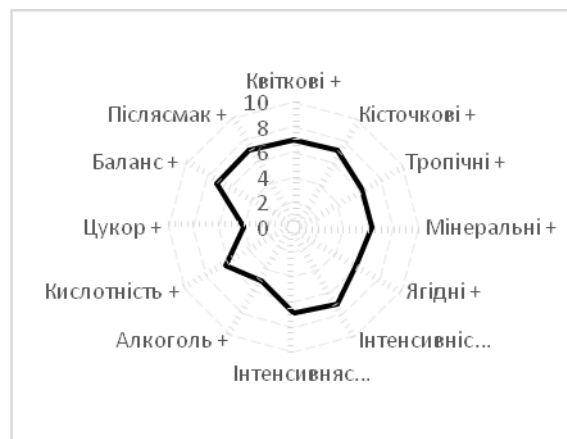


Рис. 4. Сенсорний профіль Riesling Piter Lehman, Австралія

Попри чи не одну з найкращих показників інтенсивності аромату, він має достатньо низькі показники післясмаку та балансу (рис. 5). Вино Франції з регіону Ельзас отримало 86,3 бала (таблиця 1). Його профіль майже копіює профілі фаворитів, але на менших рівнях якості (рис. 6). Зразок № 7, український Рислінг від виробника Chateau Chizay отримав 82,5 бала (таблиця 1).

В основному така оцінка склалася через низький рівень балансу та короткий післясмак (рис. 7). Разом с тим це показує, що українське вино має потенціал. Маємо найнижчий рівень балансу (рис. 8). Це може бути наслідком співвідношення цукру до кислотності. Що, своєю чергою, може бути наслідком малої кількості цукру на момент збирання врожаю.



Рис. 5. Сенсорний профіль Riesling St. Mihael Erpan, Італія

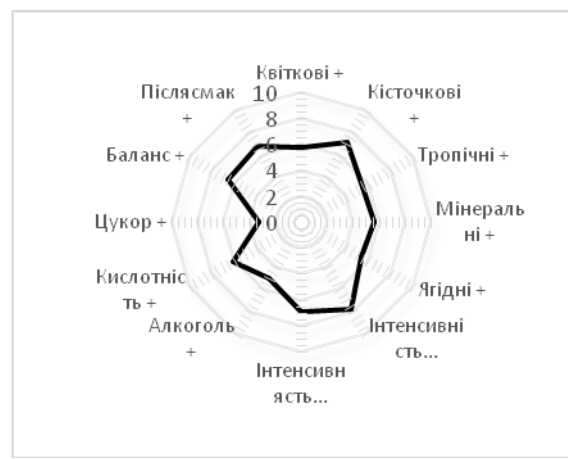


Рис. 6. Сенсорний профіль Riesling Hugel, Франція

Найнижчий рівень післясмаку є результатом низької інтенсивності аромату та смаку (рис. 8). Це може бути наслідком недостатньої фенольної зрілості ягід на момент збирання врожаю.

Аналізую створені профілі вин різних країн та при їх порівнянні, виявлено, що майже всі дескриптори, крім тропічних фруктів є у наявності українського Рислінгу, це може бути проявом або наслідком терруару або недостатньої зрілості ягід на момент збирання врожаю (рис. 7).

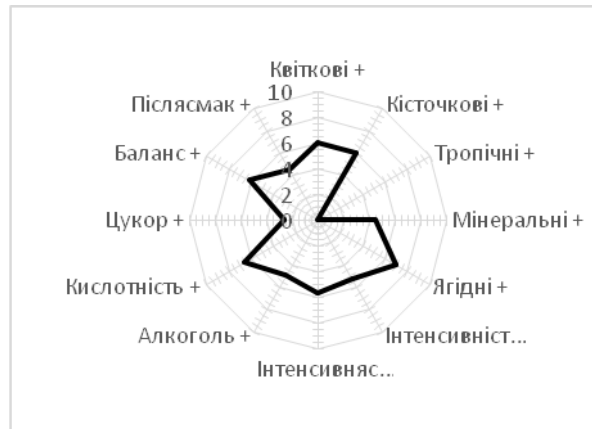


Рис. 7. Сенсорний профіль Riesling Chateau Chizay, Україна

Інтенсивність дескриптора ягід майже найбільших серед усіх Рислінгів у вітчизняного зразка. Даний показник може бути тим самим унікальним дескриптором, притаманним для українського Рислінгу. Для більш повної картини потрібно провести нові експерименти серед інших регіонів, де зростається даний сорт. Дескриптор квітів схожий по рівню інтенсивності до італійського та німецького аналогів (рис. 8) Даний висновок цікавий тим, що, можливо, Рислінг Chizay має лози з німецького розподільника, де лози купують і австрійські винороби.

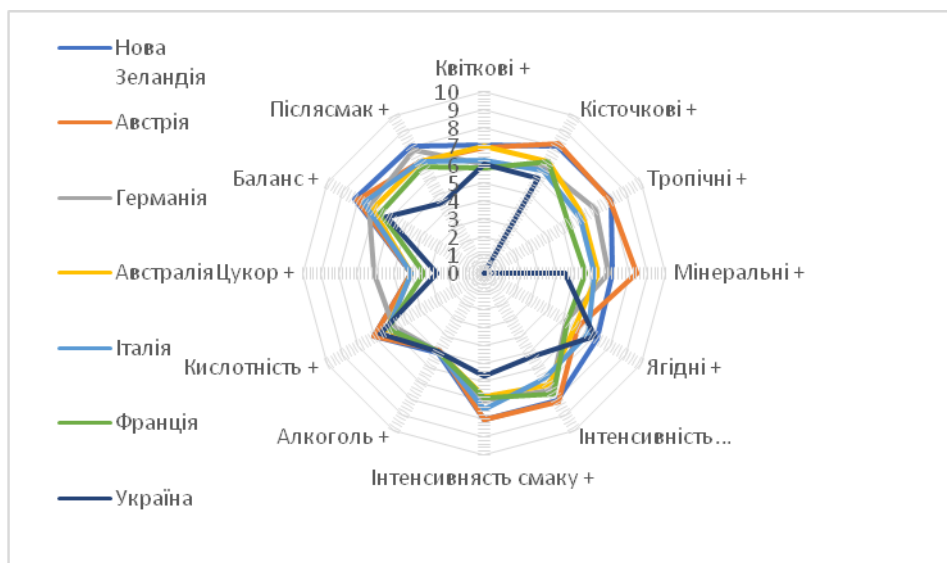


Рис. 8. Порівняльна характеристика сенсорних профілів вин з сорту Рислінг Рейнський, вирощених в Україні, Європі та країнах Нового Світу.

Аромати кісточкових фруктів та мінералів, хоч і присутні в Рислінгу України, але менш за все виражені (рис. 7). Обидва дескриптори є стандартними для більшості вин з сорту Рислінг Рейнський. Те, що їх рівень значно нижчий, ніж в інших зразків, також може бути наслідком не повної фенольної дозрілості ягід.

Кислотність та алкоголь в українського Рислінгу займають такі ж межі, як і в порівнювальних зразках (рис. 8). Ці два фундаментальні критерії для балансу вина дуже важливі та мають велике значення для кінцевого оцінювання будь-якого зразка. Щодо цукру – він відчувається на рецепторах найменше. Це ще одне підтвердження припущенню про достатньо ранній збір врожаю, коли і фенольна зрілість, і цукор, не досягли необхідного рівня. Так, звичайно, це могло бути наслідком умисних дій винороба, і цілком було отримати саме таке вино, або ж інші причини пов'язані з технологічними процесами на виноробні. Наша мета – не знайти помилки, а знайти зони росту якості. Не заборонити винороба робити вино на свій розсуд, а дати можливість іншим зробити висновки з чинного досвіду.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У ході досліджень проаналізовано ситуація, щодо ринку споживання та виробництва вин з сорту Ріслінг Рейнський, як вітчизняних, так і імпортованих зразків, розроблені по порівнянні між собою сенсорні профілі семи країн Європи на Новому світі, у тому числі України. Встановлено, що український Ріслінг Рейнський має яскраво виражений ягідний дескриптор, достатньо високу інтенсивність дескрипторів квітів та кісточкових фруктів, та гарну кислотність. Важливо зауважити, що це може стосуватися тільки Ріслінгів з зони Закарпаття, звідки родом виробник Chizay. Дана інформація потребує перевірки в майбутніх роботах. Виявлені дані щодо балансу та післясмаку відкривають нові шляхи щодо поліпшення якості Ріслінгу, як то – більш пізній збір врожаю, витримка на осаді і т.і. Для повної картини причин потрібно мати повний аналіз виноматеріалу, яку автор має намір зробити в наступних експериментах.

Література

1. Pigott S. Best white wine on earth / S. Pigott. – New York : Abrams, 2014. - 208 с.
2. Власов, В. В. Виноград: монографія / авт.кол. : В.В. Власов, Н.А. Мулюкіна, Н.Н. Зеляненська [и др]. - Одеса : Астропринт, 2018. – 616 с.
3. Winthrop Haeger, J. Riesling Rediscovered / J. Winthrop Haeger – USA : University of California Press, 2016. - 369 с.
4. Grebneva, Y. D. The formation, sensory contribution and management of 1,1,6-trimethyl-1,2-dihydronaphthalene (TDN) in grapes and wines of Vitis vinifera L.cv. Riesling / Y.D. Grebneva. – Geisenheim : Gesellschaft zur Förderung der Hochschule Geisenheim. – 2021 – P. 174-200.
5. MW Jackson N. Beyond Flavour / N. Jackson. – USA : Independently published 2019. - 180 с.
6. Іукурідзе Э. Ж. Influence of bottle aging on the dynamics of quality indicators of wines of controlled names of origin. Technology audit and production reserves / Э.Ж. Іукурідзе, О.Б. Ткаченко, Т.С. Сугаченко. - 2016. Vol. 6, No. 3(32). С. 27–31. - DOI:10.15587/2312-8372.2016.86506.
7. ДСТУ ISO 5492:2006 [Електронний ресурс] // Наказ від 07.09.2006 № 272 Про затвердження національних стандартів України. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=92870.
8. ДСТУ ISO 6564:2005 [Електронний ресурс] // Наказ від 25.05.2005 № 128 Про затвердження національних стандартів України та скасування нормативних документів. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=92887.
9. ДСТУ 7805:2015 [Електронний ресурс] // Наказ від 22.06.2015 № 61 Про прийняття нормативних документів України, гармонізованих з міжнародними та європейськими нормативними документами, національних стандартів України, скасування нормативних документів України та міждержавних стандартів в Україні. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=80803.
10. ДСТУ ISO 8586:2019 Дослідження сенсорне [Електронний ресурс] // Наказ від 25.07.2019 № 233 Про прийняття та скасування національних стандартів. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83769.
11. ДСТУ ISO 3972:2004 Аналіз органолептичний [Електронний ресурс] // Наказ від 11.01.2005 № 10 Про затвердження національних стандартів України. – 2005. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=92830.
12. Kym A. Wine Globalization / A. Kym, P. Vicente - USA : Cambridge University Press, 2018. - 574 с.

References

1. Pigott S. Best white wine on earth / S. Pigott. – New York : Abrams, 2014. - 208 с.
2. Vlasov, V. V. Vynohrad: monohrafiya / avt.kol. : V.V. Vlasov, N.A. Muliukyna, N.N. Zelianenskaia [y dr]. - Odessa : Astroprynt, 2018. – 616 с.
3. Winthrop Haeger, J. Riesling Rediscovered / J. Winthrop Haeger – USA : University of California Press, 2016. - 369 с.
4. Grebneva, Y. D. The formation, sensory contribution and management of 1,1,6-trimethyl-1,2-dihydronaphthalene (TDN) in grapes and wines of Vitis vinifera L.cv. Riesling / Y.D. Grebneva. – Geisenheim : Gesellschaft zur Förderung der Hochschule Geisenheim. – 2021 – P. 174-200.
5. MW Jackson N. Beyond Flavour / N. Jackson. – USA : Independently published 2019. - 180 с.
6. Yukurydze Э. Zh. Influence of bottle aging on the dynamics of quality indicators of wines of controlled names of origin. Technology audit and production reserves / Э.Ж. Yukurydze, O.B. Tkachenko, T.S. Suhachenko. - 2016. Vol. 6, No. 3(32). С. 27–31. - DOI:10.15587/2312-8372.2016.86506.
7. DSTU ISO 5492:2006 [Elektronnyi resurs] // Nakaz vid 07.09.2006 № 272 Pro zatverdzhennia natsionalnykh standartiv Ukrainy. – 2007. – Rezhym dostupu do resursu: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=92870.
8. DSTU ISO 6564:2005 [Elektronnyi resurs] // Nakaz vid 25.05.2005 № 128 Pro zatverdzhennia natsionalnykh standartiv Ukrainy ta skasuvannia normativnykh dokumentiv. – 2006. – Rezhym dostupu do resursu: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=92887.
9. DSTU 7805:2015 [Elektronnyi resurs] // Nakaz vid 22.06.2015 № 61 Pro pryiniattia normativnykh dokumentiv Ukrainy, harmonizovanykh z mizhnarodnyimi ta yevropeiskymy normativnymy dokumentamy, natsionalnykh standartiv Ukrainy, skasuvannia normativnykh dokumentiv Ukrainy ta mizhderzhavnykh standartiv v Ukrain. – 2015. – Rezhym dostupu do resursu: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=80803.
10. DSTU ISO 8586:2019 Doslidzhennia sensorne [Elektronnyi resurs] // Nakaz vid 25.07.2019 № 233 Pro pryiniattia ta skasuvannia natsionalnykh standartiv. – 2019. – Rezhym dostupu do resursu: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83769.
11. DSTU ISO 3972:2004 Analiz orhanoleptychnyi [Elektronnyi resurs] // Nakaz vid 11.01.2005 № 10 Pro zatverdzhennia natsionalnykh standartiv Ukrainy. – 2005. – Rezhym dostupu do resursu: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=92830.
12. Kym A. Wine Globalization / A. Kym, P. Vicente - USA : Cambridge University Press, 2018. - 574 с.

Рецензія/Peer review : 07.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 19.08.2022 р.

ГРАНЯК В. Ф.

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6604-6157>e-mail: titanxp2000@ukr.net

ГРИЩУК О. А.

Вінницький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України

e-mail: oleggryshchuk@gmail.com

РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОЇ ІНФОРМАТИВНОСТІ ДІАГНОСТУЮЧИХ ОЗНАК

У статті досліджено особливості побудови систем діагностування обертових електричних машин в реальних умовах їх експлуатації. Показано, що в зазначених режимах роботи існує проблема обмеженої інформативності вхідних інформаційних параметрів, що можуть бути використані для побудови таких систем. Обґрунтовано доцільність вибору типу вхідної інформації систем діагностування на основі методу еволюційного пошуку. Продemonстровано, що зазначений метод дозволяє більш повною мірою охопити простір пошуку, ніж, наприклад, градієнтні методи оптимізації, та отримати розв'язок, близький до оптимального, за відносно короткий час (малу кількість ітерацій).

Запропоновано концепцію та типову структурну схему системи діагностування обертових електричних машин на основі модифікованої нестандартної штучної нейроподібної мережі (ШНМ) та структуру самої ШНМ, що враховує при діагностуванні поточний режим роботи електричної машини та характеризується високою адаптивністю до об'єкта діагностування. Наведено приклад її апаратної реалізації.

Ключові слова: обертова електрична машина, діагностування, інформативна ознака, інформативність, селективність, вираженість, штучна нейроподібна мережа.

Valerii HRANIAK

Vinnytsia National Agrarian University

Oleh HRYSHCHUK

Vinnytsia Research Expert Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine

DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF BUILDING DIAGNOSTIC SYSTEMS OF ROTATING ELECTRICAL MACHINES UNDER THE CONDITIONS OF LIMITED INFORMATIONALITY OF DIAGNOSTIC SIGNS

The article examines the peculiarities of the construction of systems for diagnosing rotating electric machines in the real conditions of their operation. It is shown that in the specified modes of operation there is a problem of limited informativeness of input information parameters that can be used to build such systems. At the same time, an additional limiting factor that must be considered when designing and implementing such equipment is the limited possibility of intervention in the design of the electric machine, which is usually limited to the manufacturing plant.

As a result of a thorough analysis of the latest research in the direction of the development of diagnostic systems for rotating electric machines, a systematization of the technological parameters of electric machines that are most suitable for use in diagnostic systems was carried out. It is shown that when choosing input parameters of diagnostic systems, it is advisable to consider their informativeness, selectivity, expressiveness and complexity of the acquisition algorithm. At the same time, it is substantiated that the choice of the optimal combination of diagnostic features cannot be considered from the point of view of superposition, since each of them will be characterized by the entropy of selectivity and severity relative to defects of different types.

The expediency of choosing the type of input information of diagnostic systems based on the method of evolutionary search is shown. It is demonstrated that the mentioned method allows to more completely cover the search space than, for example, gradient optimization methods, and to obtain a solution close to the optimal one in a relatively short time (a small number of iterations).

The concept and typical structural diagram of the system for diagnosing rotating electric machines based on a modified non-standard artificial neural network (ANN) and the structure of the ANN itself, which considers the current mode of operation of the electric machine during diagnosis and is characterized by high adaptability to the object of diagnosis, are proposed. An example of its hardware implementation is given.

Key words: rotating electric machine, diagnostics, informative feature, informativeness, selectivity, expressiveness, artificial neural network.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

При побудові систем діагностування обертових електричних машин суттєвою проблемою є як обмежена можливість втручання у їх конструкцію (здійснення якого зазвичай вважається грубим порушенням технічних умов експлуатації обладнання), так і необхідність вимірювання технічних параметрів останніх в режимі реального часу, що обумовлюється динамічністю розвитку дефектів [1, 2]. Враховуючи це, при побудові систем автоматичного контролю та діагностування обертових електричних машин типовим підходом є використання опосередкованих технологічних параметрів, таких як струм, напруга, вібросигнал, кліренс тощо, які є доступними для вимірювання з достатньою швидкістю безпосередньо у режимі реального часу роботи електричної машини. Про те, враховуючи високу складність електричних, магнітних та механічних зв'язків, що мають місце при роботі обертової електричної машини, є очевидним, що інформативність таких параметрів буде суттєво обмеженою. Зазначена обставина додатково

ускладнюватиметься і їх обмеженою селективністю, оскільки при доволі широкій номенклатурі можливих збурюючих факторів типовим явищем для переважної більшості опосередкованих ознак технічного стану буде близькість їх результуючого відгуку при дії різних обумовлюючих чинників [1, 2].

Тож, враховуючи сказане, є очевидною необхідність розробки ефективної концепції побудови систем автоматизованого контролю та діагностування обортових електричних машин в умовах обмеженої інформативності діагностуючих ознак, що дозволяла б забезпечити високу ефективність роботи системи за умов наведених вище обмежень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Однією з головних тенденцій розвитку сучасної науки є збільшення питомої ваги систем, що можуть бути віднесені до класу систем з виключною складністю [3, 4]. Головною особливістю систем цього класу є наявність великої кількості зв'язків та (або) факторів впливу, класичний математичний опис яких є неможливим або недоцільним внаслідок суттєвого зростання складності моделі, що робить її непридатною для практичного використання [4, 5]. Типовою задачею такого типу, що має значний практичний інтерес та пов'язана з необхідністю аналізу та формування логічного висновку у системі, яка відноситься до систем виключної складності, є задача діагностування обортових електричних машин [6].

Аналіз літературних джерел та попереднього світового досвіду у сфері побудови систем автоматизованого контролю та діагностування обортових електричних машин [1, 7-9] дозволяє здійснити систематизацію опосередкованих ознак технічного стану, що можуть бути використані при побудові таких систем. Класифікація останніх наведена на рис. 1.



Рис. 1. Фізичні величини, що використовуються при діагностування обортових електричних машин

Зазначені ознаки мають високу інформативність та при застосування їх оптимальних комбінацій та проміжної інформаційної обробки теоретично забезпечують можливість з високою вірогідністю встановлювати не лише факт наявності того чи іншого дефекту, а й потенційно виявляти місце його локалізації та прогнозувати час його розвитку [1, 5, 6, 9].

Постановка завдання

Оскільки побудова чіткої математичної моделі механічних, електромагнітних та термічних зв'язків обортової електричної машини є практично не можливою, електричну машину доцільно розглядати як «чорну скриньку». Тобто моделювати не її структуру, а зовнішнє функціонування [6]. Тому для вирішення поставленої проблеми останню доцільно розділити на підзадачу формулювання критерію вибору оптимальної комбінації вхідних інформаційних ознак та підзадачу розробки структури ШНМ, що являлася б ключовим елементом прийняття логічного висновку про імовірність наявності дефекту.

Розробка критерію вибору діагностичних ознак

До головних якісних характеристик ознак, що доцільно застосовувати у системі діагностування електричних машин, можна віднести [3, 4]:

- інформативність;
- вираженість;
- селективність;
- складність алгоритму отримання (розрахунку).

При цьому найбільш важливим показником, що має пріоритетно враховуватися при виборі вхідних параметрів системи діагностування є саме інформативність, яка математично може бути описаною як умовна ентропія:

$$H\left(\frac{K}{X}\right) = -\sum_x p(x) \sum_k P\left(\frac{k}{x}\right) \log P\left(\frac{k}{x}\right), \quad (1)$$

де X – досліджуваний параметр (фізична величин); K – множина можливих досліджуваних станів електричної машини (у тому числі і дефектних); x – можливі значення (діапазони значень) досліджуваного параметру; k – можливі досліджувані стани (у тому числі і дефектні) електричної машини.

Про те, варто відзначити, що вибір оптимального поєднання діагностичних ознак не може розглядатися з точки зору суперпозиції, оскільки кожна із них характеризуватиметься неоднаковою селективністю та вираженістю відносно дефектів різного типу [1, 10, 11]. Враховуючи це, очевидно є необхідність формування оптимального набору діагностичних ознак з урахуванням їх індивідуальних особливостей, найбільш вірогідних режимів роботи електричної машини та можливих дефектів.

Аналіз існуючих методів, придатних для вирішення поставленої задачі вибору оптимальної сукупності інформаційних ознак, дозволив провести їх систематизацію, що наведена на рис. 2

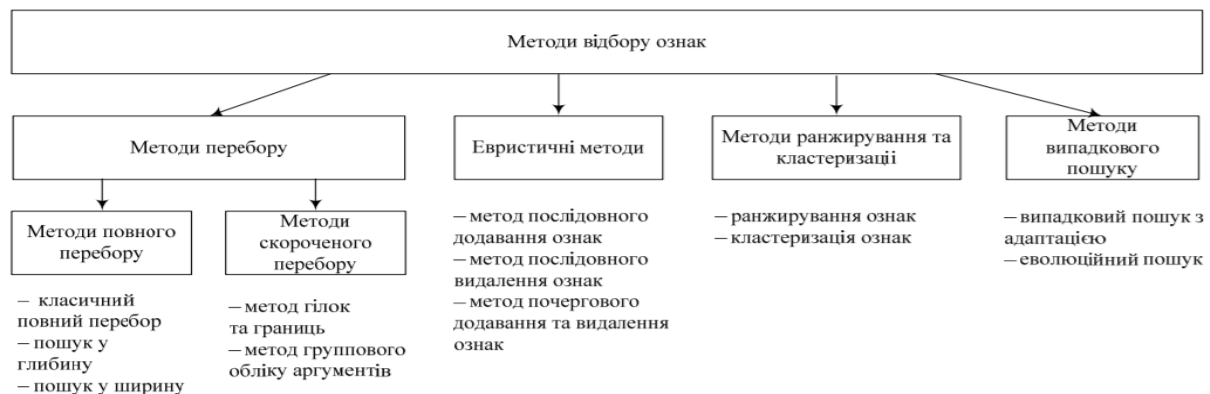


Рис. 2. Систематизація методів, придатних для відбору оптимальної сукупності інформаційних параметрів системи діагностування оборотних електричних машин

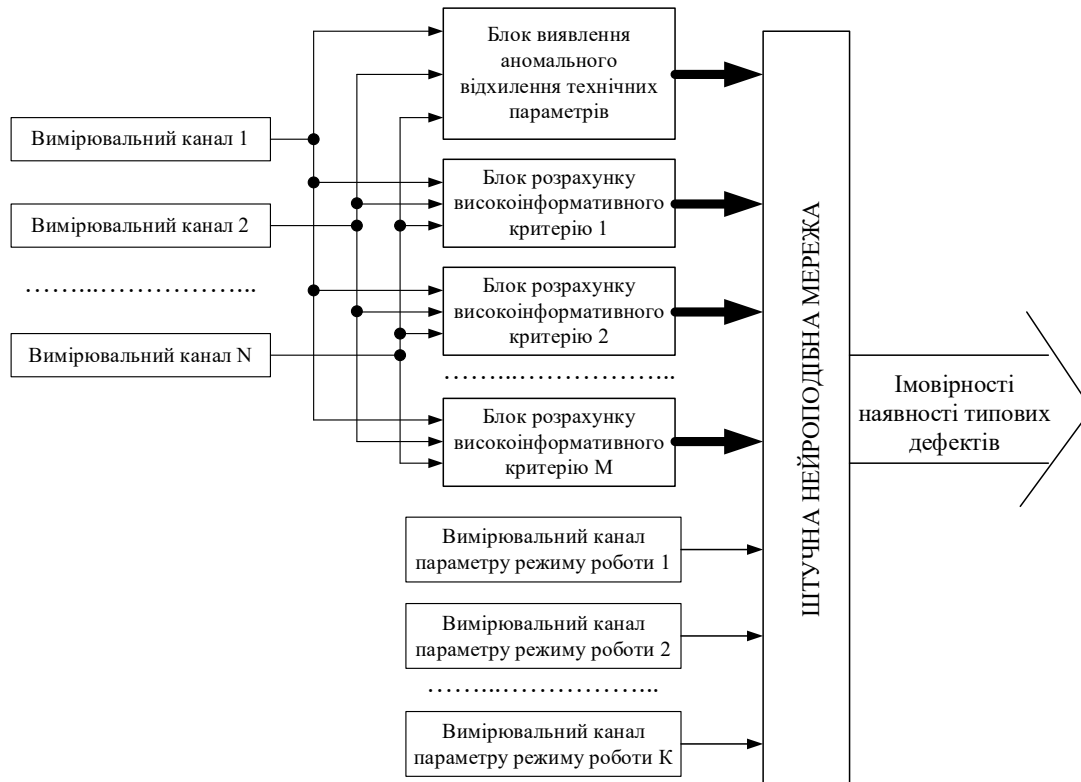


Рис. 3. Структурна схема системи діагностування

Серед наведених на рис. 2 методів особливий інтерес викликає метод еволюційного пошуку. Він являє собою еволюційний алгоритм, що на кожній ітерації працює з підмножиною потенційних розв'язків. Кожен кандидат на оптимальний розв'язок представлений хромосомою – бітовим рядком з k елементів, де k – загальна кількість усіх можливих ознак, що описують об'єкт. Якщо ознака береться до розгляду в

поточному розв'язку-кандидаті, то відповідний біт хромосоми встановлюється рівним 1. Перевагою еволюційного пошуку є те, що він має можливості для виходу з локальних оптимумів і пристосований для знаходження нових рішень за рахунок об'єднання кращих рішень, отриманих на різних ітераціях. Такий пошук, дозволяє на кожній ітерації працювати із множиною потенційних розв'язків одночасно, що дозволяє більш повною мірою охопити простір пошуку, близький до оптимального, за відносно короткий час [3,4].

Розробка концепції побудови системи діагностування

Оскільки діагностування неминуче передбачає необхідності прийняття логічних висновків, є очевидним, що досліджувана система є класичним прикладом задачі формування логічного висновку в системах виключної складності за допомогою нейроподібної мережі. Тож, алгоритм вирішення цієї задачі та структура запропонованої нейроподібної мережі може розглядатися як окремо узятий унікальний випадок, що має значну практичну цінність, оскільки може бути адаптованим для вирішення задач подібного типу.

Як було сказано вище, побудова таких систем передбачає попередній вибір переліку інформативних ознак, що необхідно подавати у якості вхідних сигналів ШНМ. Ці дані надходять до підсистеми поточного моніторингу, звідки, після попередньої обробки, передаються у підсистему діагностування. Тож, структура системи діагностування може мати вигляд, наведений на рис. 3.

При цьому структура самої ШНМ може бути реалізована так, як показано на рис. 4.

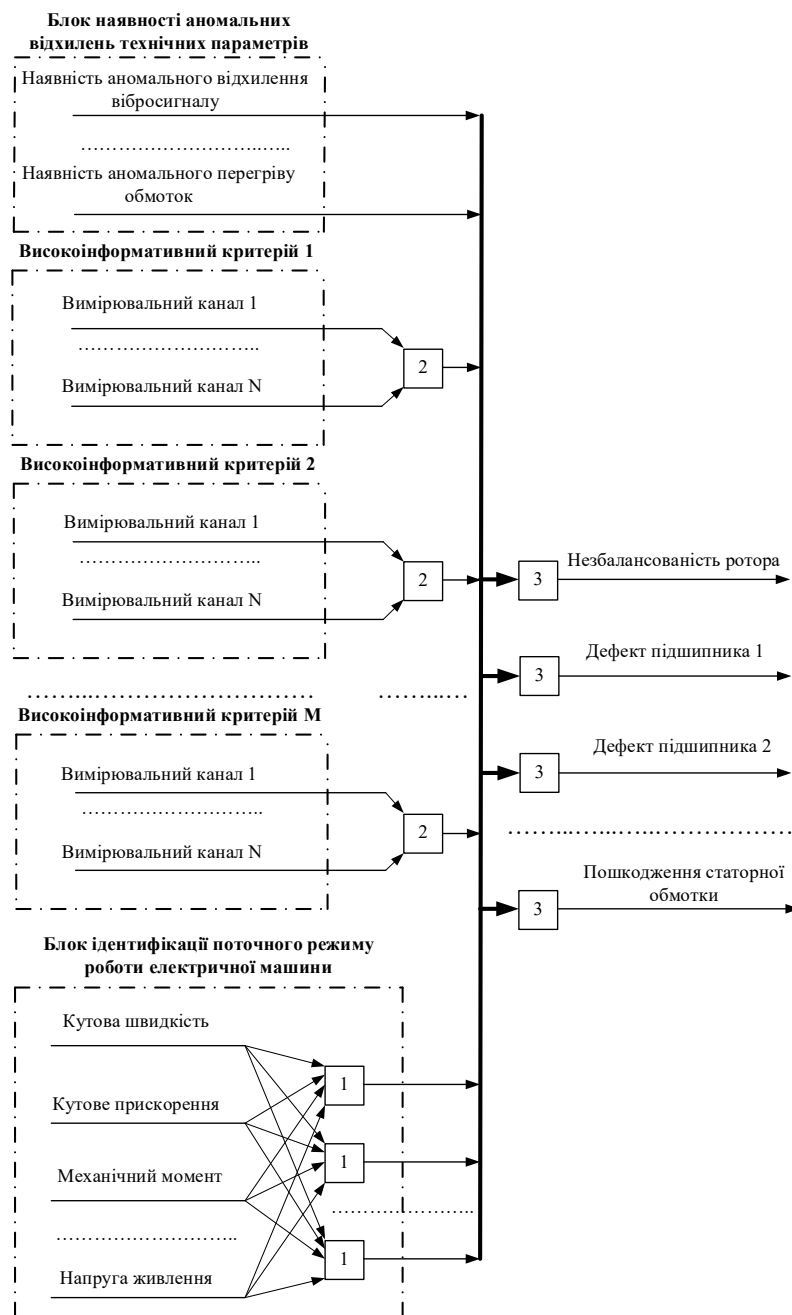


Рис. 4. Структура запропонованої ШНМ

Відокремлений шар ШНМ (нейрони якого позначені квадратиками із цифрою 1 та формують підсистему вибору поточного режиму роботи) містить K нейронів. Кожен нейрон цього шару отримує інформацію про поточні параметри електричної машини, призначені для ідентифікації режиму роботи останньої. На виході кожного із зазначених нейронів формується імовірнісна характеристика роботи машини у визначеному режимі, такому як: розгін, зупинка, накид навантаження, скид навантаження, холостий хід тощо.

Функції перетворення кожного із нейронів запропонованої ШНМ формуються у результаті передексплуатаційного навчання на основі статистичної інформації про особливості роботи електричних машин досліджуваного класу. Особливістю структури ШНМ, наведеної на рис. 4 є можливість автономного навчання підсистеми вибору поточного режиму роботи, що підвищує її адаптивність та ефективність.

Перший шар нейронів основної ШНМ (позначений цифрою 2) містить M нейрон, кожен з яких отримує узагальнену критеріальну інформацію від вимірювальних каналів, призначених для формування окремо узятото високоінформативного критерію, значення якого разом з інформацією про поточний режим роботи електричної машини поступають на нейрони другого шару ШНМ (позначені цифрою 3). Окрім цього на входи нейронів другого шару подаються сигнали з «Блоку наявності аномальних відхилень технічних параметрів». Головною задачею зазначеного блоку є відслідковування таких технічних параметрів, як: перевищення віброприскорення, перегрів обмоток тощо (залежно від результатів вибору оптимальної сукупності інформаційних параметрів системи діагностування, методика якої описана вище).

Спрацювання нейронів другого шару відбувається лише тоді, коли хоча б один із сигналів «Блоку наявності аномальних відхилень технічних параметрів» перевищуватиме встановлене нормоване значення. В цьому випадку функція активації нейронів другого шару може бути представленою, як:

$$\phi(a_i) = \text{sign}(a_i - a_0, \Delta\tau) \cdot \sum_{j=1}^M \psi(p_j), \quad (2)$$

де $\Delta\tau$ – часова затримка на вимикання, a_i – поточне значення параметру, що поступає на відповідний нейрон; a_0 – порогове значення параметру; p_i – скорегований j -й інформативний критерій; $\psi(p_i)$ – функція впливу скорегованого j -го інформативного критерію; $\text{sing}(a_i - a_0, \Delta\tau)$ – релейна функція з затримкою на вмикання.

Слід відзначити, що логічний висновок такої системи, сформований нейронами другого шару, носитиме імовірнісний характер. Перевищення певного встановленого значення імовірності для кожного з обраних найбільш імовірних дефектів формує логічний висновок про підозру на його наявність.

Приклад реалізації системи діагностування

Загальний принцип побудови таких систем варто здійснювати на основі модульного підходу до нарощування кількості вимірювальних каналів з можливістю відносно легкої модернізації шляхом підключення додаткових пристроїв та зміни програмного алгоритму роботи систем. Крім цього є очевидною необхідність застосування дворівневої апаратної системи обробки вхідної інформації (результатів вимірювання). Зокрема, перший рівень доцільно реалізувати у вигляді дискретних числових перетворювачів (мікроконтролерів), що здійснюватимуть формування пакетів вимірювальної інформації у придатному для подальшої обробки вигляді. Залежно від кількості вимірювальних каналів, складності вимірювальних алгоритмів та доступної апаратної продуктивності на першому рівні може застосовуватися один або декілька числових перетворювачів [12].

Другий апаратний рівень доцільно представити у вигляді високопродуктивного сервера, що здійснюватиме попередню обробку пакетів вхідних даних та, за потреби, розрахунок на їх основі високоінформативних критеріїв, що характеризують технічний стан електричної машини. З метою збільшення швидкості роботи алгоритму та враховуючи значну кількість інформації, що має передаватися від блоку попередньої обробки до ШНМ, зазначені алгоритмічні операції доцільно виконувати у межах одного апаратного рівня [12].

У найпростішому випадку, при побудові системи діагностування одиничної електричної машини структура такої системи може мати вигляд, наведений на рис. 5.

Пристрій працює наступним чином.

п віброперетворювачів 11-1п здійснюють перетворення рівня віброприскорення, у п ключових вузлах агрегату, в рівень постійної напруги, значення якої підсилюється до значення, придатного для роботи системи у п масштабуючих підсилювачах 61-6п. п смугових фільтрів 81-8п відфільтровують вищі гармоніки вхідного сигналу, що не досліджуються в процесі віброконтролю, пропускаючи на вихід лише ті гармонічні складові, за якими проводиться контроль вібраційного стану електричної машини. Сигнал з виходів п смугових фільтрів 81-8п надходять на входи п елементів аналогової пам'яті 91-9п відповідно, де запам'ятовують у момент надходження з виходу формувача 7 одиничного сигналу, що відповідає повороту ротора електричної машини на визначений кут α . Цей же сигнал логічної одиниці з виходу формувача 7 поступає на перший вхід першого порту мікроконтролера 13 та служить сигналом початку операції вимірювального перетворення віброприскорення. Після цього на другому виході першого порту мікроконтролера 13 формується адресний сигнал, що відповідає першому інформаційному входу аналогового мультимплексора 11, що призводить до встановлення сигналу з його першого входу на його виході. Тоді на першому виході першого порту мікроконтролера 13 формується сигнал запуску аналого-

цифрового перетворення, що поступає на другий вхід цифро-аналогового перетворювача 12, на перший вхід якого поступає сигнал з виходу аналогового мультимплексора 11, результат цифро-аналогового перетворення зчитується з виходу цифро-аналогового перетворювача 12 через перший вхід другого порту мікроконтролера 13 при приході на вхід другого порту мікроконтролера 13 сигналу закінчення вимірювального перетворення. Після цього на другому виході першого порту мікроконтролера 13

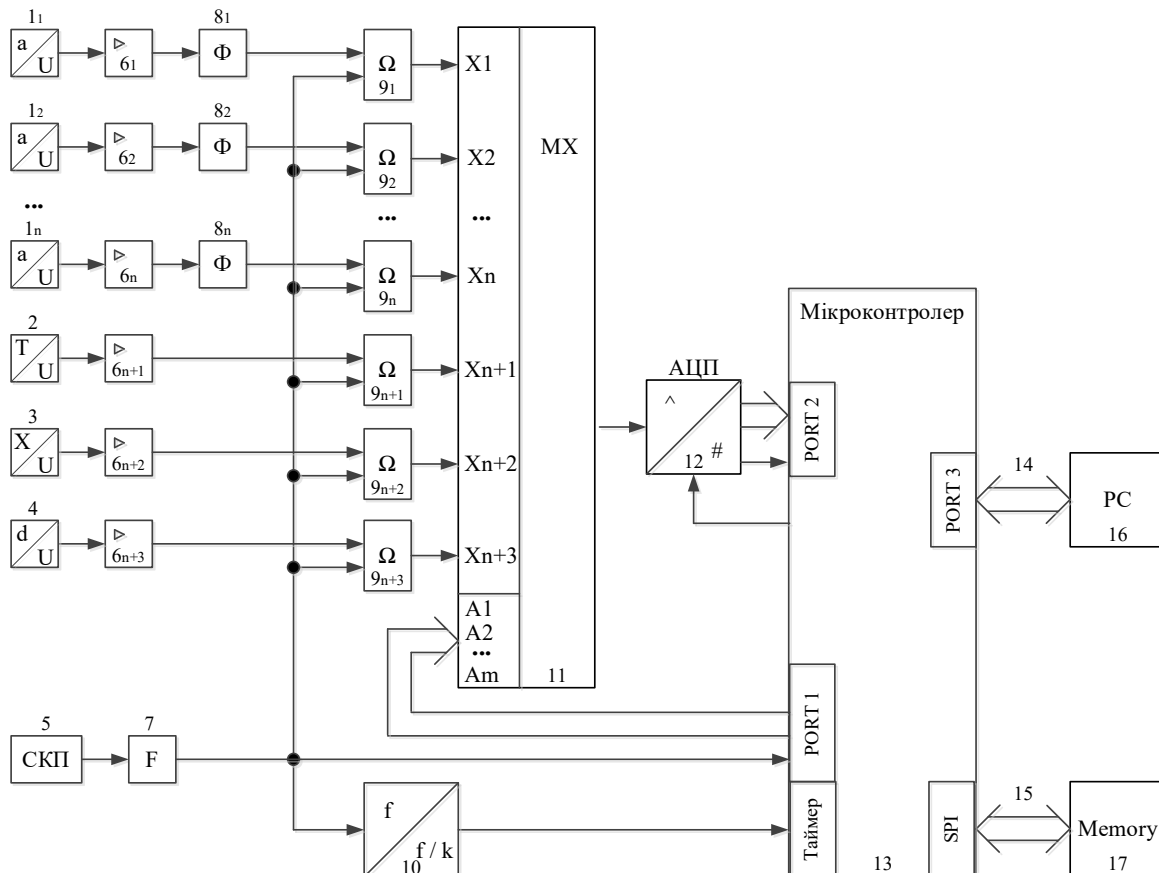


Рис. 5. Структурна схема однієї з найпростіших систем діагностування обертової електричної машини

формується адреса наступного інформаційного входу аналогового мультимплексора 11. Решта операцій повторюється циклічно, доки не буде отримано цифрове значення сигналу на усіх входах аналогового мультимплексора 11, що відповідають рівням віброприскорення у всіх ключових точках агрегату, значенню температури поточної полюсної обмотки, поточному значенню осьового зміщення ротора та величині повітряного зазору між ротором та статором. Після завершення цих операцій вимірювальна система переходить у режим очікування наступного одиничного імпульсу з виходу формувача 7, а після його отримання операції повторюються циклічно.

На виході сенсора кутового положення 5 формується сигнал при повороті ротора електричної машини на заданий кут α , який поступає на вхід формувача 7. У формувачі 7 цей сигнал перетворюється у сигнал логічної одиниці та поступає, окрім других входів елементів аналогової пам'яті $81-8n+3$ та першого входу першого порту мікроконтролера 13, на вхід подільника частоти 10, на виході якого, при надходженні на його вхід k -го імпульсу, що відповідає коефіцієнту ділення частоти, формується сигнал логічної одиниці, який поступає на вхід таймера мікроконтролера 13, де служить сигналом запису поточного числа, відрахованого таймером мікроконтролера 13. При повороті ротора електричної машини на кут 360 градусів (повний оборот) на виході сенсора кутового положення 5 формується сигнал подовженої тривалості що у формувачі перетворюється на подовжений сигнал логічної одиниці, який слугує для мікроконтролера 13 маркером початку нового обороту ротора, що використовується для перевірки правильності роботи подільника частоти 10.

На виході безконтактний датчик температури 2 формується сигнал постійної напруги, що пропорційний температурі поточної полюсної обмотки ротора. Даний сигнал з виходу безконтактного датчика температури 2 надходить на вхід $n+1$ -го масштабуючого підсилювача 6, де підсилюється до рівня, придатного для подальшої цифрової обробки. З виходу $n+1$ -го масштабуючого підсилювача 6 підсилений сигнал надходить на перший вхід $n+1$ -го елементу аналогової пам'яті 9, де запам'ятовується при надходженні на його другий вхід керуючого сигналу з виходу формувача 7.

На виході безконтактний датчик осьового зміщення ротора 3 формується сигнал постійної напруги, що пропорційний поточному осьовому зміщенню ротора. Даний сигнал з виходу безконтактний датчик осьового зміщення ротора 3 надходить на вхід $n+2$ -го масштабуючого підсилювача 6, де підсилюється до рівня, придатного для подальшої цифрової обробки. З виходу $n+2$ -го масштабуючого підсилювача 6

підсилений сигнал надходить на перший вхід $n+2$ -го елементу аналогової пам'яті 9, де запам'ятовується при надходженні на його другий вхід керуючого сигналу з виходу формувача 7.

На виході безконтактного датчика повітряного зазору між ротором та статором 4 формується сигнал постійної напруги, що пропорційний поточному осьовому зміщенню ротора. Даний сигнал з виходу датчика повітряного зазору між ротором та статором 4 надходить на вхід $n+3$ -го масштабуючого підсилювача 6, де підсилюється до рівня, придатного для подальшої цифрової обробки. З виходу $n+3$ -го масштабуючого підсилювача 6 підсилений сигнал надходить на перший вхід $n+3$ -го елементу аналогової пам'яті 9, де запам'ятовується при надходженні на його другий вхід керуючого сигналу з виходу формувача 7.

Виміряні значення віброприскорення у всіх ключових точках електричної машини, температури поточної полюсної обмотки ротора, поточного осьового зміщення ротора, повітряного зазору між ротором та статором, а також числовий код, відрахований таймером за час повороту ротора електричної машини на кут α передається через перший 14 та другий 16 пристрій перетворення інтерфейсу та лінію зв'язку на сервер 17. Додатково на сервер 17 поступає вимірювальна інформація від штатних сенсорів струму на напору. На сервері 17 здійснюється попередня обробка первинної вимірювальної інформації, прийняття рішення про наявність/відсутність дефектів, а також індикація результатів операцій контролю та діагностування.

Зовнішня пам'ять 15 застосовується для проміжного зберігання отриманих числових значень, пропорційних виміряним величинам, та, при потребі, програмного коду роботи мікроконтролера 13.

Робота підсистеми діагностування.

У нейроподібній мережі 19 на основі сигналів на її входах приймається рішення про імовірність наявності дефекту у кожному із вузлів m електричної машини. Інформація про отриманий нейроподібною мережею 19 висновок через її вихід подається на пристрій візуалізації 20, де відбувається її виведення у зручній для оператора формі.

При потребі наведена на рис. 5 система може бути доповненою додатковими вимірювальними каналами, що підключатимуться блочно а існуючі вимірювальні канали можуть бути замінені. У випадку застосування мікроконтролерів (числових перетворювачів) не достатньої обчислювальної потужності, як уже зазначалося, доцільним є використання декількох числових перетворювачів першого апаратного рівня обробки на один гідроагрегат.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. Обґрунтовано доцільність вибору типу вхідної інформації систем діагностування на основі методу еволюційного пошуку. Показано, що зазначений метод дозволяє більш повною мірою охопити простір пошуку, ніж, наприклад, градієнтні методи оптимізації, та отримати розв'язок, близький до оптимального, за відносно короткий час (малу кількість ітерацій).
2. Запропоновано концепцію та типову структурну схему системи діагностування обертових електричних машин на основі модифікованої нестандартної ШНМ та структуру самої ШНМ, що враховує при діагностуванні поточний режим роботи електричної машини та характеризується високою адаптивністю до об'єкта діагностування. Наведено приклад її апаратної реалізації.

Література

1. Моніторинг і діагностика електромеханічних об'єктів: навчальний посібник / О.П. Чорний [та ін.] – Кременчук: ЧП Щербатых А.В., 2019 – 122 с.
2. Особливості побудови системи моніторингу технічного стану та діагностування гідроагрегатів: монографія / В.В. Кухарчук [та ін.] – Вінниця: ВНТУ, 2019 – 91 с.
3. Системний аналіз інформаційних процесів: навчальний посібник / В.М. Варенко – Київ: Університет «Україна», 2013 – 203 с.
4. Прокопенко Т.О. Теорія систем і системний аналіз: навчальний посібник / Т.О. Прокопенко – Черкаси: ЧДТУ, 2019 – 139 с.
5. Моніторинг, діагностування, та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів: монографія / В. В. Кухарчук [та ін.] – Вінниця: ВНТУ, 2014 – 168 с.
6. Дискретні вейвлет-перетворення в діагностуванні гідроагрегатів: монографія / В.В. Кухарчук [та ін.] – Вінниця: ВНТУ, 2019 – 118 с.
7. Kuksova V.I. Approaches to increasing the efficiency of systems of technical diagnostics / V. I. Kuksova // Procedia Structural Integrity – 2019 – № 20 – P. 98-102. DOI: 10.1016/j.prostr.2019. 12.122
8. Howard W.P. Electrical Motor Diagnostics. 2nd Edition / W.P. Howard – USA: Success by Design, 2014 – 432 p.
9. Счастливый Г.Г. Фізичні процеси в роторах енергетичних і електричних машин і способи підвищення їхньої надійності / Г.Г. Счастливый, О.І. Титко, В.Л. Ахременко, Ю.М. Васильовський // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України: Збірник наукових праць – 2010 – Вип 26 – С. 105-113.
10. Теория мезомасштабной турбулентности. Вихри атмосферы и океана / С. Арсеньев [и др.] – Москва: Регулярная и хаотическая динамика, 2016 – 308 с.

11. Rao S.S. Vibration of continuous systems / S.S. Rao – New York, USA: Jon Wiley & Sons, 2007 – 720 p.
12. Граняк В.Ф. Система автоматизованого діагностування і прогнозування розвитку дефектів гідроагрегатів / В.Ф. Граняк // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах: матеріали IV Міжнародної конференції, 29-31 жовтня 2019 р. / М-во освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2019 – С. 92-93.

References

1. Monitorynh i diahnostryka elektromekhanichnykh ob'ektiv: navchalnyi posibnyk / O.P. Chornyi [et al.] – Kremenichuh: ChP Shcherbatykh A.V., 2019 – 122 p.
2. Osoblyvosti pobudovy systemy monitorynhu tekhnichnoho stanu ta diahnostuvannya hidroahrehativ: monohrafiia / V.V. Kukharchuk [et al.] – Vinnytsia: VNTU, 2019 – 91 p.
3. Systemnyi analiz informatsiinykh protsesiv: navchalnyi posibnyk / V.M. Varenko – Kyiv: Universytet «Ukraina», 2013 – 203 p.
4. Prokopenko T.O. Teoriia system i systemnyi analiz: navchalnyi posibnyk / T.O. Prokopenko – Cherkasy: ChDTU, 2019 – 139 p.
5. Monitorynh, diahnostuvannya, ta prohnozuvannya vibratsiinoho stanu hidroahrehativ: monohrafiia / V. V. Kukharchuk [et al.] – Vinnytsia: VNTU, 2014 – 168 p.
6. Dyskretni veivlet-peretvorennia v diahnostuvanni hidroahrehativ: monohrafiia / V.V. Kukharchuk [et al.] – Vinnytsia: VNTU, 2019 – 118 p.
7. Kuksova V.I. Approaches to increasing the efficiency of systems of technical diagnostics / V. I. Kuksova // Procedia Structural Integrity – 2019 – № 20 – P. 98-102. DOI: 10.1016/j.prostr.2019. 12.122
8. Howard W.P. Electrical Motor Diagnostics. 2nd Edition / W.P. Howard – USA: Success by Design, 2014 – 432 p.
9. Schastlivyi H.H. Fizychni protsesy v rotorakh enerhetychnykh i elektrychnykh mashyn i sposoby pidvyshchennia yikhnoi nadiinosti / H.H. Schastlivyi, O.I. Tytko, V.L. Akhremenko, Yu.M. Vaskovskyi // Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy: Zbirnyk naukovykh prats – 2010 – Vol 26 – P. 105-113.
10. Teoriya mezomasshtabnoy turbulentnosti. Vihri atmosfery i okeana / S. Arsenev [et al.] – Moscow: Regul'yarnaya i haoticheskaya dinamika, 2016 – 308 p.
11. Rao S.S. Vibration of continuous systems / S.S. Rao – New York, USA: Jon Wiley & Sons, 2007 – 720 p.
12. Hraniak V.F. Systema avtomatyzovanoho diahnostuvannya i prohnozuvannya rozvytku defektiv hidroahrehativ / V.F. Hraniak // Measurement and control in technical systems: presiding IV International conference, 29-31 october 2019 y. / Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnytsia National Technical University. – Vinnytsia, 2019 – P. 92-93.

Рецензія/Peer review : 05.07.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

ДАВИДЕНКО Н. В.

Луцький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9722-745X>e-mail: n.v.davydenko@lntu.edu.ua

МЕТА-МОДЕЛЬ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОТОТИПУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЗА ФОРМОЮ ЗОБРАЖЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МГУА НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В НОТАЦІЇ УНІФІКОВАНОЇ МОВИ МОДЕЛЮВАННЯ

В роботі запропоновано принципи об'єктно-орієнтованої формалізації процесу проектування інформаційної технології класифікації об'єктів, яка базується на виборі кращої структури моделі класифікатора з набору моделей-кандидатів, здатних до самоорганізації. Вирішальне правило класифікації будується в блоці синтезу моделей інформаційної технології класифікації. Як алгоритм синтезу моделей застосовано МГУА нейронні мережі. Вибір кращої структури моделі виконується за набором критеріїв. Побудову мета-моделі процесу проектування виконано із застосуванням уніфікованої мови моделювання. Функціональна мета-модель представлена діаграмою варіантів використання.

Ключові слова: інформаційна технологія, класифікація, мета-модель, UML-діаграми.

Nina DAVYDENKO

Lutsk National Technical University

META-MODEL OF DESIGN OF INFORMATION TECHNOLOGY PROTOTYPE OF CLASSIFICATION OF OBJECTS BY IMAGE SHAPE USING GMDH NEURAL NETWORKS IN THE NOTATION OF A UNIFIED MODELING LANGUAGE

The article is devoted to the development of intelligent monitoring systems of technological processes based on the use of machine vision systems. The principles of object-oriented formalization of the process of designing information technology of the classification of objects by the geometric shape of the image obtained from the machine vision system are proposed in the article. The proposed information technology is based on the use of machine learning technologies and provides for the selection of the best structure of the classifier model from a set of candidate models. Construction of candidate models is based on the use of the group method of data handling, based on the principles of self-organization of models. The outline of the image of the object obtained from the intelligent monitoring system is the input information. The set of input data contains a set of morphometric parameters that describe the geometric shape of the figure formed by the contour of the image of the object, as well as the label of the class to which the object belongs. The formation of the set of input data is implemented in the block «Image Processing». The decisive rule of classification is built in the block of synthesis of models of information technology of classification. GMDH neural networks were used as an algorithm for model synthesis. The choice of the best structure of the model is performed by a set of criteria. The information technology for constructing the classifier model is implemented by supplementing the block of algorithms for synthesis of MSUA models with the block «Class of models», which implements the process of selecting the class of functions for building models, and the block «Verification of models», which implements the best model structure. Construction of the meta-model of the design process was performed using a unified modeling language. The functional meta-model is represented by a use case diagram.

Keywords: information technology, classification, meta-model, UML-diagrams.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасні тенденції розвитку виробництва, спрямовані на автоматизацію та роботизацію технологічних процесів, а також цифровізація виробництва в рамках концепції індустрії 4.0 та впровадження технологій інтелектуального управління виробничими процесами зумовлюють необхідність автоматичної обробки та аналізу великих масивів даних, отриманих від систем моніторингу. Складовою сучасних систем інтелектуального моніторингу технологічних процесів є системи технічного зору, які забезпечують виявлення і аналіз об'єктів за їхніми зображеннями, що є основою автоматичного управління технологічними операціями. Розвиток інформаційних технологій (ІТ) розпізнавання та класифікації об'єктів за формою їх зображення, заснованих на технологіях машинного навчання, є актуальним завданням для реалізації концепції розумного управління.

Аналіз досліджень та публікацій

Розпізнавання образів (об'єктів, сигналів) – задача ідентифікації об'єкта за зображенням чи набором характеристик [1]. Класифікація об'єктів базується на методиці віднесення елемента до певного образу у просторі метрик, яка передбачає побудову певного правила – класифікатора. Від вибору представлення образів і реалізації метрики залежить ефективність процесу класифікації [1]. Існують різні евристичні, лінгвістичні та математичні методи розпізнавання зображень, ідентифікації та класифікації об'єктів [2, 3]: потенційні функції, байєсівські мережі, марківські мережі, штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми, дерева рішень тощо. Сучасні технології машинного зору реалізовані на основі технологій штучного інтелекту та методах машинного навчання (МН) [4], яке передбачає використання наявних даних для налаштування параметрів алгоритму для підгонки алгоритму під специфіку розв'язуваного завдання.

Алгоритми МН використовуються для класифікації (навчання з учителем), кластеризації (навчання без учителя), навчання з підкріпленням тощо. Працездатність алгоритмів МН залежить від параметрів алгоритму та обраної структури моделі. Завдання вибору структури моделі та оптимального набору її параметрів, методу побудови моделі та його налаштування є важливим етапом побудови ефективної системи МН. Отже, обробка та перетворення інформації алгоритмами синтезу моделей класифікатора зображень є важливою складовою для успішної реалізації завдань класифікації об'єктів за їх зображенням, отриманих від системи машинного зору в рамках інтелектуального моніторингу [5].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є формування принципів проектування інформаційної технології класифікації об'єктів за геометричною формою їх зображення, що базується на застосуванні алгоритмів самоорганізації моделей складних систем та забезпечує побудову оптимальної моделі класифікатора

Виклад основного матеріалу

Завдання класифікації належить до класу завдань навчання з учителем. Екземпляр класифікації представляється у вигляді матриці «об'єкти-ознаки», кожен рядок, якої містить вектор ознак, що характеризує властивості об'єкту, та мітку класу, до якого він належить. Задача класифікації вирішується на основі множини числових характеристик векторів ознак, що утворює множину вхідних даних (МВД) [5]. Дані з відомими класами подаються на вхід алгоритму синтезу моделей (АСМ), який повинен розпізнати приховану залежність між ознаками та міткою класу. Результатом розв'язку задачі є правило класифікації. В класі евристичних мета-моделей широке застосування мають штучні нейронні мережі (НМ), моделі з використанням методу групового урахування аргументів (МГУА) та машин опорних векторів [6]. У випадках, коли відсутня або майже відсутня апіорна інформація про структуру моделі і розподіл її параметрів, доцільним є застосування методів побудови моделей здатних до самоорганізації [6], до яких належить МГУА. Створення МГУА-мета-моделей засноване на сортуванні поступово ускладнених варіантів моделей з вибором їх оптимальної структури [7].

Блок синтезу моделей (БСМ) МГУА містить базові алгоритми МГУА [8], алгоритми МГУА-подібних НМ, гібридні алгоритми тощо. БСМ МГУА забезпечує структурно-параметричний вибір моделі класифікатора за результатами послідовного випробування кожного з АСМ на основі оцінки якості отриманої моделі-класифікатора за критерієм регулярності на екзаменаційній вибірці з урахуванням властивостей МВД [5]. Як АСМ класифікатора застосовуються алгоритм МГУА НМ, основою яких є ітераційні алгоритми МГУА. МГУАНМ належать до групи поліноміальних НМ з попарним комбінуванням виходів попереднього ряду або шару [9], причому число «прихованих шарів» може бути довільним. Для перевірки моделі застосовуються різні стратегії перехресної перевірки. Для оцінки якості класифікації використовуються метрики [8]: точність, повнота, метрика Ван Різбергена (F-mіra). Точність і повнота не залежать від співвідношення розмірів класів і коректно відображають якість роботи АСМ. Слід зазначити, що вибір оптимальної структури виконується в заданому класі функцій. Дослідник повинен задати клас функцій, в якому слід шукати оптимальну структуру моделі-класифікатора, а також вибрати АСМ та стратегії її перевірки.

Реалізація ІТ класифікації об'єктів за формою їх зображення вимагає вирішення декількох задач: 1) опис геометричної форми зображення об'єкту; 2) навчання системи; 3) синтез моделей-кандидатів класифікатора; 4) формування бази модельних знань, що містить множину моделей-кандидатів класифікаторів; 5) вибір кращої структури моделі класифікатора; 6) ідентифікація належності зображення об'єкта до одного з типових класів.

Сучасні CASE-технології розробки програмного забезпечення є основою конструювання ефективних ІТ для задач інтелектуального моніторингу. Розробка будь-якого процесу – це послідовне прийняття рішень на основі певних послідовно виконуваних етапів [10], що утворюють основу мета-моделі предметної галузі. Мета-модель описує структуру та принципи побудови інших моделей, забезпечує логічний рівень домену, визначає «деталі конструктора» процесу проектування ІТ класифікації об'єктів за формою їх зображення. Складність проектування та розробки прототипу ІТ полягає в тому, що необхідно врахувати множину всіх можливих етапів та варіантів процесів при розв'язанні задачі з урахуванням різних можливих вхідних даних [10]. Важливим етапом під час проектування ІТ є формалізація вимог до програмного продукту. Проектування ІТ з урахуванням парадигми об'єктно-орієнтованого програмування виконується із застосуванням принципів уніфікованого процесу розробки програмного забезпечення. Стандартним засобом моделювання ІТ є уніфікована мова моделювання (Unified Modeling Language – UML), що використовує графічні позначення для створення абстрактної UML-моделі системи [11]. Моделювання UML описує структуру та поведінку системи за допомогою графічних зв'язків. Отже, мета-модель складається з сутностей і атрибутів модельованої системи. Перед початком створення нової ІТ необхідно створити модель вимог клієнта до застосування ІТ, яка повинна представляти послуги, які пропонує ІТ та інші сутності, з якими вона взаємодіє. Для цього застосовується діаграма варіантів використання (прецедентів), яка описує вимоги набором сценаріїв, тобто «специфікації набору дій, виконуваних системою, що дає спостережуваний результат, який є цінним для одного або кількох акторів або інших зацікавлених сторін» [11]. Варіанти використання – це засіб для визначення необхідних видів використання системи. Діаграма варіантів

використання відповідає на питання: що робить система. Це функціональна модель, яка відображає функціональність системи з точки зору користувача системи. Ієрархічну структуру інформаційної технології представляє діаграма класів за допомогою об'єктів, атрибутів, операцій та відносин між об'єктами. Діаграма класів моделює статичну структуру інформаційної технології [11]. Модель внутрішньої поведінки відображають діаграми діяльності, стану, послідовності та взаємодії.

Загальна структура ІТ класифікації об'єктів за формою їх зображення, отриманого від системи моніторингу технологічного процесу, представлена набором прецедентів (рис. 1). Вхідною інформацією є геометрична форма контуру зображення об'єкту, описана набором морфометричних параметрів, та мітка класу, до якого належить об'єкт. Формування множини морфометричних параметрів реалізовано в блоці «Обробка зображення». Правило класифікації будується в блоці синтезу моделей інформаційної технології із застосуванням МГУА НМ. Результатом роботи АСМ є формування набору моделей-кандидатів, що мають оптимальну структуру в заданому класі функцій. Вибір кращої структури моделі виконується за набором критеріїв оцінки якості моделі та якості класифікації. Технологія побудови моделі класифікатора реалізована шляхом доповнення блоку АСМ МГУА НМ блоком «Клас моделей», що реалізує процес вибору класу функцій для побудови моделей, та блоком «Верифікація моделей», що реалізує вибір кращої структури моделі.

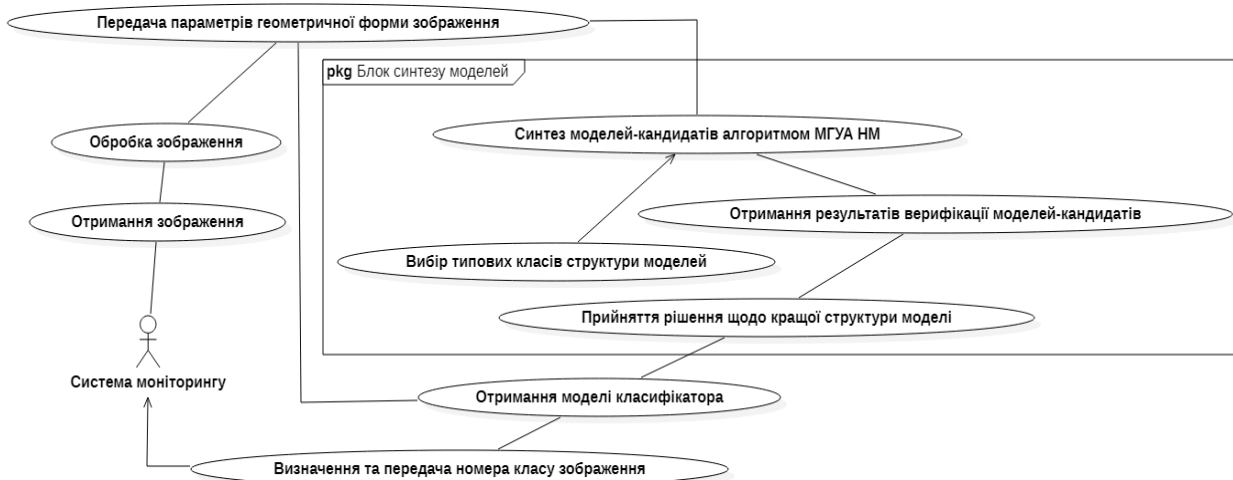


Рис. 1. Мета-модель інформаційної технології класифікації зображень у вигляді діаграми варіантів використання

Для швидкого доступу до UML-діаграм класів, варіантів використання, діаграм послідовностей, станів і взаємодії використовується UMLMap – «карта» моделі ІТ, що містить хеш-таблиці. UMLMap забезпечує можливість додавання, редагування, видалення діаграм, розрахунок метрик, здійснювати перевірку на цілісність. Після представлення UML-моделі ІТ в UMLMap, виконується задання вимог узгодженості та верифікація ІТ.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розвиток ІТ класифікації об'єктів, заснованих на технологіях машинного навчання, є однією із складових розвитку інтелектуальних систем моніторингу технологічного процесу, що використовують системи машинного зору. Реалізація ІТ класифікації об'єктів за формою їх зображення вимагає вирішення декількох задач, частина з яких реалізується за допомогою прикладних програмних продуктів, а частина – потребує залучення досвіду дослідника, яке полягає у застосуванні його знань щодо типу моделі класифікатора, а також вибору кращої його структури з можливих моделей-кандидатів. Запропонована інформаційна технологія забезпечує вирішення низки завдань без участі дослідника в процесі побудови моделі класифікатора.

Література

1. Круліковський Б. Теоретичні основи розпізнавання багатомірних образів у хемінговому просторі / Б. Круліковський, А. Сидор, О. Заставний, Є. Николайчук // Науковий вісник НЛТУ України. – 2016. – № 26(3). – С. 361–367.
2. Волошин М. В. Розробка комбінованої моделі розпізнавання зображень / М. В. Волошин // Technology audit and production reserves. – 2019. – Том 3. № 2(47). – С. 9–14.
3. Басюк Т. Аналіз та класифікація основних методів розпізнавання образів на площині проекції / Т. Басюк, Я. Пушко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2015. – № 826. – С. 291–298.
4. Подскребко О. С. Технології машинного навчання в промисловості з використанням методів розпізнавання образів / О. С. Подскребко, Д. М. Квашук, А. К. Берідзе-Стаховський // Економіка та держава. – 2019. – № 6. – С. 46–49.

5. Голуб С. В. Побудова моделей-класифікаторів за результатами багатовимірної поляризаційної мікроскопії в технології судово-медичного інтелектуального моніторингу хвороб серця / С. В. Голуб, Ю. О. Ушенко, О. Я. Ванчуляк, М. В. Талах // Математичні машини і системи. – 2018. – № 3. – С. 48–59.
6. Гальченко В. Я. Методи створення метамodelей: стан питання / В. Я. Гальченко, Р. В. Трємбовецька, В. В. Тичков, А. В. Сторчак // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2020. – № 4. – С. 74–88.
7. Anastasakis L. The development of self-organization techniques in modelling: A review of the Group Method of Data Handling (GMDH) / L. Anastasakis, N. Mort // The University of Sheffield, United Kingdom. – 2001. – Research Report no. 813. URL: https://gmdhsoftware.com/GMDH_%20Anastasakis_and_Mort_2001.pdf
8. GMDH Shell for Data Science uses the power of the GMDH (Group Method of Data Handling). URL: <http://www.gmdh.net/> (17.03.2022)
9. Ghanadzadeh H. Mathematical model of liquid–liquid equilibrium for a ternary system using the GMDH-type neural network and genetic algorithm / H. Ghanadzadeh, M. Ganji, S. Fallahi // Applied Mathematical Modelling. – 2012. – Vol. 36. № 9. – P. 4096–4105.
10. Піднебесна Г.А. Онтологічний підхід до побудови метамodelей предметної галузі індуктивного моделювання / Г.А. Піднебесна // УСМ. – 2018. – № 3. – С. 18–32.
11. Betari O. Applying a Model Driven Architecture Approach: Transforming CIM to PIM Using UML / O. Betari, S. Filali, A. Azzaoui, M. A. Bounad // International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE). – 2018. – 14(09). – P. 170–181.

References

1. Krulikovskiy B. Theoretical bases of recognition of multidimensional images in Hamming space / B. Krulikovskiy, A. Sydor, O. Zastavnyi, Ye. Nykolaichuk // Scientific Bulletin of UNFU. - 2016. - № 26(3). - S. 361-367.
2. Voloshyn M. V. Development of a combined model of image recognition / M. V. Voloshyn // Technology audit and production reserves. - 2019. - Vol. 3. № 2(47). - S. 9-14.
3. Basiuk T. Analysis and classification of basic methods of pattern recognition in the projection plane / T. Basiuk, Ya. Pushko // The Bulletin of Lviv Polytechnic National University titled "Computer sciences and information technologies". - 2015. - № 826. - S. 291-298.
4. Podskrebko O. S. Machine learning technologies in industry using image recognition methods / O. S. Podskrebko, D. M. Kvashuk, A. K. Beridze-Stakhovskiy // Ekonomika ta derzhava. - 2019. - № 6. - S. 46-49.
5. Holub S. V. Construction of models-classifiers based on the results of multidimensional polarization microscopy in the technology of forensic intelligent monitoring of heart disease / S. V. Holub, Yu. O. Yshenko, O. Ya. Vanchuliak, M. V. Talakh // Mathematical Machines and Systems. – 2018. - № 3. - S. 48-59.
6. Halchenko V. Ya. Methods of creating metamodels: the state of the question / V. Ya. Halchenko, R. V. Trembovetska, V. V. Tychkov, A. V. Storchak // Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute. - 2020. - № 4. - S. 74-88.
7. Anastasakis L. The development of self-organization techniques in modelling: A review of the Group Method of Data Handling (GMDH) / L. Anastasakis, N. Mort // The University of Sheffield, United Kingdom. - 2001. - Research Report no. 813. URL: https://gmdhsoftware.com/GMDH_%20Anastasakis_and_Mort_2001.pdf
8. GMDH Shell for Data Science uses the power of the GMDH (Group Method of Data Handling). URL: <http://www.gmdh.net/> (Accessed on: 17.03.2022)
9. Ghanadzadeh H. Mathematical model of liquid–liquid equilibrium for a ternary system using the GMDH-type neural network and genetic algorithm / H. Ghanadzadeh, M. Ganji, S. Fallahi // Applied Mathematical Modelling. - 2012. - Vol. 36. № 9. - P. 4096-4105.
10. Pidnebesna H. A. Ontological approach to the construction of metamodels of the subject area of inductive modeling / H. A. Pidnebesna // Control Systems and Computers. - 2018. - № 3. - S. 18-32.
11. Betari O. Applying a Model Driven Architecture Approach: Transforming CIM to PIM Using UML / O. Betari, S. Filali, A. Azzaoui, M. A. Bounad // International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE). - 2018. - 14(09). - P. 170-181.

Рецензія/Peer review : 11.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

ДАНИЛКОВИЧ А. Г.

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-5707-0419>e-mail: ag101@ukr.net

ЛІЩУК В. І.

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-1943-8048>e-mail: lishukviktor@gmail.com

ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВІДМОЧУВАЛЬНО-ЗОЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИРОБНИЦТВІ ШКІР

Розроблена ресурсоощадна екологічно орієнтована технологія відмочувально-зольних процесів виробництва шкір для верху взуття з сировини великої рогатої худоби. Досліджено фізико-хімічні, технологічні та екологічні особливості існуючої і розробленої технологій. Розроблена технологія завдяки підвищенню температури процесу забезпечує ефективніше використання хімічних реагентів, зменшення концентрації екологічно небезпечних реагентів, тривалості процесу та енерговитрат на виробництво одиниці продукції. При цьому, загальні витрати хімічних реагентів зменшуються у 2,2 рази, а у відпрацьованих технологічних розчинах концентрація сульфиду натрію і гідроксиду кальцію – відповідно у 2,9 і 4,4 разів при скороченні тривалості технологічного процесу у 2,3 рази. Розроблена ресурсоощадна технологія забезпечує формування шкіряного матеріалу для верху взуття зі збільшеним виходом площі на 3,9 %, а його експлуатаційні властивості відповідають вимогам ДСТУ 3115-95.

Ключові слова: виробництво шкіри, відмочувально-зольні процеси, екологічно орієнтована технологія, ресурсоощадна технологія, властивості шкіри.

Anatolii DANYLKOYCH, Viktor LISHCHUK
Kyiv National University of Technologies and Design

ECOLOGICAL FEATURES OF SOAKING AND ASH PROCESSES IN THE PRODUCTION OF LEATHER

Ecological and colloid-chemical features of soaking-ash processes in processing of raw cattle leather materials at production of elastic leather for uppers of footwear according to operating and developed resource-saving technologies are investigated. To evaluate the effectiveness of the technological processes used a set of physic-chemical and operational properties of leather semi-finished products at different stages of its formation to the finished material.

Resource-saving ecologically oriented technology of soaking and ash processes in leather production for shoe uppers from raw salted conserved materials - bull skins has been developed. Physicochemical, technological and ecological features of existing and developed technologies are studied. The developed technology due to the increase of process temperature provides more efficient use of chemical reagents, reduction of concentrations of environmentally hazardous reagents, process duration and energy consumption per unit of output. At the same time, the total consumption of chemical reagents is reduced by 2.2 times, and in the waste technological solutions the concentration of sodium sulfide and calcium hydroxide - by 2.9 and 4.4 times, respectively. However, the developed resource-saving environmentally friendly technology is characterized by a reduction in biological and chemical oxygen demand for the destruction of organic and inorganic substances in the waste soaking-ash solution after treatment of 1 ton of raw materials by 30.0 and 21.0%, respectively. By reducing the duration of the technological process by 2.3 times, the new technology can be considered as energy efficient. The developed resource-saving technology provides the formation of leather material for shoe uppers with an increased yield of 3.9%, and its performance properties meet the requirements of DSTU 3115-95. The results obtained in the development of environmentally friendly resource-saving technology of soaking ash processes for footwear leather uppers from raw cattle leather materials can be effectively used in the development of new innovative technologies for the manufacture of leather materials from a wide range of other raw materials.

Key words: leather production, soaking and ash processes, ecologically oriented technology, resource-saving technology, leather properties.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасні наукові дослідження при розробленні нових і удосконаленні існуючих технологій спрямовані на підвищення їх екологічності й енергоощадності. Оскільки, виробництво натуральних шкіряних матеріалів характеризується використанням значних витрат екологічно небезпечних реагентів [1], багатостадійністю і тривалістю виробничого процесу, то виникає об'єктивна необхідність у зменшенні витрат небезпечних хімічних реагентів та підвищенні ефективності використання всіх компонентів технологічного процесу, у першу чергу, на стадії відмочування-зольння шкіряної сировини. При цьому велике значення мають скорочення значних об'ємів води, реконструкції очисних споруд [2], а також проведення моніторингу на всіх стадіях технологічного циклу виробництва шкіряних матеріалів.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій

Результати аналізу екологічних особливостей шкіряного виробництва свідчать про те, що при переробленні промисловістю світу 4,8 млн т шкіряної сировини [3] в стічні води шкіряних підприємств потрапляє 80 тис. т протеїнів кератину в деструктованому стані [4], що мають відносно високу стійкість до окиснення. Особливістю шкіряного виробництва є використання консервованої сировини з вмістом 30 % хлориду натрію [5], який потрапляє у стічні води. Слід відзначити, що на стадії відмочування-зольння

білкової сировини у промислові стоки надходить до 50 % всіх забруднень [6], у тому числі понад 90 % сульфідів. При цьому, стічні води відмочувально-зольних процесів містять речовини колоїдних і молекулярних розмірів, в середньому г/дм³ [7]: осаду 170, завислих 4,4, азоту амонійного 2,5, хлоридів 28, сульфатів 22. Відомо також, що для біологічного і хімічного очищення технологічних стоків відмочувально-зольних процесів необхідно витратити 60 % кисню від загального споживання шкіряним виробництвом [8]. Отже, нагальною проблемою шкіряного виробництва є суттєве скорочення витрат хімічних реагентів, їх ефективне використання при формуванні зеленого напівфабрикату у виробництві шкір широкого асортименту. У зв'язку з цим необхідно проведення фізико-хімічного аналізу відмочувально-зольних процесів для підвищення їх ефективності при розробленні нових технологій у виробництві еластичних шкір для верху взуття.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є фізико-хімічний аналіз технологічних і екологічних особливостей відмочувально-зольних процесів оброблення шкіряної сировини і розроблення ресурсоощадної екологічно орієнтованої технології виробництва еластичних шкір.

Виклад основного матеріалу

Багатокомпонентна технологія відмочування-зольння у виробництві шкір передбачає використання мокросолоної сировини, води природної ГОСТ ISO 5667-11-2013, соди кальцинованої технічної за ДСТУ - UA-2019-02-28-002251-а, сульфиду- і гідросульфиду натрію відповідно ГОСТ 596-89 і ТУ 2153-541-05763441-2012, гідроксиду кальцію ВП-К-Г ДСТУ Б В.2.7.-90:2011. Як сировина у роботі обробляються шкури великої рогатої худоби (ВРХ) – бичина легка мокросолоного консервування масою 19–21 кг, яка за якістю має відповідати ДСТУ 3662-97.

Екологічність відмочувально-зольних технологій визначається за комплексом фізико-хімічних показників відпрацьованої суспензії за методиками [9]. Зокрема, відпрацьовані суспензії характеризуються масою атомарного кисню, необхідного для окиснення органічних речовин в анаеробних умовах при рН 6,5–8,5 протягом 5 діб – біологічне споживання кисню (БСК-5) і кисню витраченого для окиснення органічних і неорганічних відновників у кислому середовищі – хімічне споживання кисню (ХСП). Водночас визначається окиснюваність – за способом Кюбеля, хлориди – аргентометричним методом та завислі речовини – ваговим методом.

Колоїдно-хімічні й структурні властивості зеленого напівфабрикату визначались за набуханням голини, витопленням желатину та стійкістю колагенових волокон до дії ферментів. При цьому відносно збільшення товщини зеленої голини після промивання щодо товщини відмоченої сировини вимірювали за допомогою товщиноміру індикаторного типу з ціною поділок 0,01 мм за методикою [10]. Кількість витопленого желатину з напівфабрикату встановлюється за температури (65±0,1) °С протягом 1,5 год на фотоелектрокалориметрі «ФЭК-56М» по калібрувальному графіку «Оптична щільність розчину желатину – відсоток сухого залишку» при довжині хвилі 520 нм і еталоні – дистильована вода. Для витоплення желатину використовуються знезолені зразки з огуквої ділянки промиті протягом 24 год проточною водою. Ферментно-термічна стійкість зеленого напівфабрикату – тривалістю розчинення колагенових зрізів дерми огуквої частини товщиною 30 мкм у водному розчині панкреатину. Пористість зразків колагенового напівфабрикату на різних стадіях його оброблення встановлювали після спиртово-ефірного його зневоднення і кондиціонування при 20 ± 2 °С та відносній вологості повітря 65 ± 5 % за відношенням об'ємів абсорбованого гасу і зразка. Гідротермічна стійкість сировини і напівфабрикату – за початковим скороченням довжини зразка при нагріванні у воді зі швидкістю 2–3 °С/хв; границя міцності та видовження шкіри при напруженні 9,81 МПа – на розривній машині РТ-250М, пояс А при швидкості деформування 80 мм/хв за методиками [9]. Вихід площі отриманої продукції визначається за відношенням площі шкіри після сушильно-зволожувальних процесів і операцій до площі відмоченої сировини.

Розроблена технологія відмочування-зольння виконується за стабільної температури 27–29 °С в умовах приватного АТ «Чинбар» м. Київ (Україна) за схемою (рис. 1). Процеси проводяться у барабані Вулкан об'ємом 21,0 м³ фірми Olcina (Іспанія). При відмочування сировини швидкість обертання барабана 3–4 хв⁻¹ протягом 50 % загального часу з періодичністю 0,5 год обертання і спокою. Відмочувально-зольні процеси виконуються при змінному співвідношенні технологічний розчин / напівфабрикат – рідинний коефіцієнт (РК). При відмочуванні використовується сода кальцинована з витратою 0,5 % маси мокросолоної сировини. Цей процес завершується подвійним її промиванням відмоченої сировини.

Для зольння використовується, % від маси сировини: гідросульфід натрію – 0,6, сульфід натрію – 0,6, гідроксид кальцію – 1,0. Відпрацьований технологічний розчин має рН 11,5–12,0 і щільність 1,020–1,035 г/см³. Голина після зольння промивається і з неї на міздрильній машині видаляється підшкірна клітковина. Потім отриманий напівфабрикат розділяється на двоїльно-стрічкової машині на два шари з необхідною товщиною лицьового шару. Подальші процеси і операції виготовлення шкіри виконуються за діючою технологією [11]. Особливості діючої технології, яка на стадії відмочування-зольння реалізується за температури 20–22 °С, наведені в таблиці 1.

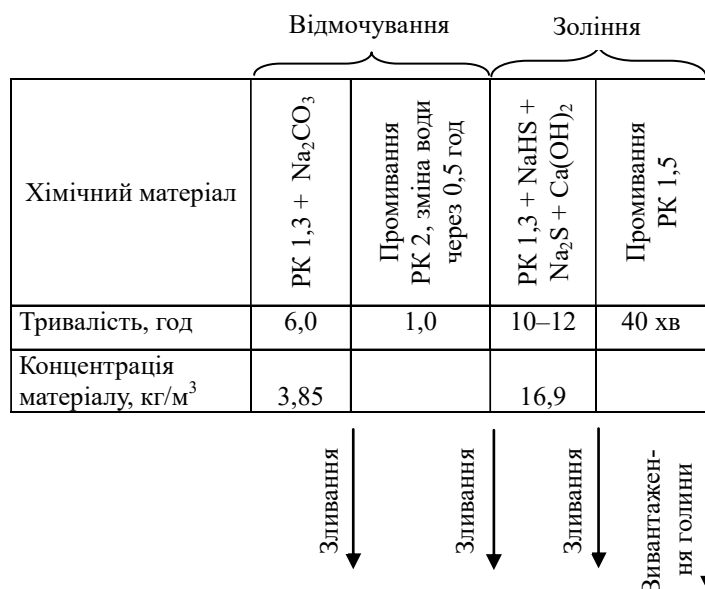


Рис. 1. Схема відмочувано-зольних процесів шкіряної сировини за ресурсоощадною технологією

Таблиця 1

Технологічні особливості досліджуваних відмочувально-зольних процесів шкіряної сировини

Показник	Технологія	
	розроблена	діюча
Матеріаловитрати, кг/т,	58,5	129,3
Витрати води, м³/т	8,6	11,5
Тривалість загальна, год	19,0	44,5
Вміст у відпрацьованому розчині, г/дм³:		
сульфіду натрію	2,75	8,0
гідроксиду кальцію	3,6	16,0
Споживання електричної енергії, кВт/т	22,7	38,3

З наведеної таблиці видно, що розроблена технологія відмочування-зоління характеризується значним скороченням матеріаловитрат, у тому числі екологічно небезпечного сульфиду натрію.

Колоїдно-хімічні властивості відпрацьованих відмочувально-зольних суспензій після оброблення шкіряної сировини наведені в таблиці 2. Отримані дані свідчать про суттєво більший вміст у відпрацьованих розчинах неорганічних речовин.

Діюча технологія відмочувально-зольних процесів оброблення шкіряної сировини виконувалась з використанням того ж технологічного обладнання і режиму його обертання, промиванням сировини перед відмочуванням зі зміною води через 0,5 год і додаванням 0,3 % соди кальцинованої від маси сировини у другу промивну воду за РК 1,5. Відмочування виконується за РК 1,5 з додаванням 1,6 % соди кальцинованої. Для зоління витрачається, % маси сировини: сульфід натрію у два прийоми по 1,5 з інтервалом 1 год, гідроксид кальцію – 4,2 [11]. Отримані дані свідчать також про дещо більший вміст хлоридів у відпрацьованих розчинах (таблиця 2).

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості відпрацьованих технологічних суспензій оброблення шкіряної сировини

Показник	Разом на 1 т сировини	Технологічний процес		
		відмочування	зоління	знезолування-м'якшення
БСК-5, кг	57,0 / 74,0	7,0 / 9,0	49,5 / 62,5	1,5 / 2,5
ХСК, кг	139,0 / 168,0	30,0 / 33,0	105,0 / 119,0	4,0 / 6,0
Окиснюваність, кг	77,0 / 98,0	12,0 / 17,0	65,0 / 81,0	–
Завислі речовини, кг	82,0 / 96,0	7,0 / 8,0	72,0 / 83,0	3,0 / 5,0
Хлориди, кг	172,0 / 179,0	150,0 / 150,0	–	22,0 / 29,0

Примітка. Значення показників розробленої і діючої технологій наведені відповідно у чисельнику і знаменнику.

Отримані результати проведеного дослідження свідчать про те, що розроблена технологія відмочування-зоління шкіряної сировини характеризується зменшеною витратою сульфідів у 2,4 рази, гідроксиду кальцію у 8 раз при менших затратах електричної енергії у 1,7 рази та скороченні загальної тривалості оброблення у 2,3 рази. При цьому зменшуються загальні витрати хімічних реагентів у 2,2 рази і

води на 2,9 м³/т сировини. Водночас відпрацьовані розчини розробленої технології мають менший вміст екологічно небезпечних сульфідів і гідроксиду кальцію відповідно у 2,9 і 4,2 рази порівняно з діючою технологією. Про це свідчать витрати кисню для знешкодження екологічно небезпечних невикористаних хімічних реагентів.

Отже, за комплексом еколого-технологічних показників розроблена технологія відмочувально-зольних процесів відзначається маловідходністю, може бути віднесена до енергоощадних, має суттєві переваги перед діючою технологією при виготовленні еластичних шкір для верху взуття.

Результати визначення технологічних і фізико-хімічних властивостей отриманого напівфабрикату і еластичного шкіряного матеріалу для верху взуття наведені в таблиці 3. Наведені дані свідчать про те, що за комплексом структурно-чутливих показників зелений напівфабрикат, отриманий за розробленою технологією, характеризується дещо вищою стабільністю структури порівняно з діючою технологією. Про це свідчать менші величини набухання і витоплення желатину, більша стійкість до дії ферментів у першому випадку. Адекватно цьому отримані еластичні шкіри характеризуються вищою міцністю, відсутністю дефекту пухлинуватих пашин і пухлинуватості. Помірне набухання зеленого напівфабрикату забезпечує формування готової шкіри з більшим виходом площі на 3,9 % і, відповідно, більш ефективним використанням шкіряної сировини.

Таблиця 3

Фізико-хімічні властивості зеленого напівфабрикату і шкіри для верху взуття

Показник	Технологія	
	розроблена	діюча
Набухання голини, %	21,0	26,0
Витоплення желатину, % сухого залишку	9,0	12,0
Ферментно-термічна стійкість, хв	55,0	52,0
Пористість, %, сировини	44,0	44,0
– голини	52,0	50,0
– шкіри	54,0	53,0
Гідротермічна стійкість, °С, сировини	65,0	65,0
– необеззоленої голини	56,0	54,0
Границя міцності шкіри, МПа	23,0	21,5
Шкіри з пухлинуватими пашинами і пухлинуватістю, %	–	18
Вихід площі шкіри, %	92,5	89,0

Отже, розроблена технологія відмочування-зольних виготовлення еластичних шкір для верху взуття може вважатись більш екологічно безпечною за меншим вмістом екологічно небезпечних реагентів у відпрацьованих розчинах і енергоощадною за скороченням тривалості оброблення сировини. При цьому забезпечується формування еластичного шкіряного матеріалу для верху взуття.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Досліджено фізико-хімічні особливості відмочувально-зольних процесів оброблення шкіряної сировини при виготовленні еластичних шкір для верху взуття за діючою і розробленою ресурсоощадною технологіями. Розроблена технологія завдяки підвищенню температури процесу забезпечує ефективніше використання хімічних реагентів, зменшення концентрацій екологічно небезпечних реагентів, тривалості процесу та енерговитрат на виробництво одиниці продукції. Зокрема, загальні витрати хімічних реагентів зменшуються у 2,2 рази, а у відпрацьованих технологічних розчинах концентрація сульфиду натрію і гідроксиду кальцію – відповідно у 2,9 і 4,4 рази при скороченні тривалості технологічного процесу у 2,3 рази. Разом з тим розроблена ресурсоощадна екологічно орієнтована технологія характеризується зменшенням біологічного і хімічного споживання кисню для деструкції органічних і неорганічних речовин у відпрацьованому відмочувально-зольному розчині після оброблення 1 т сировини відповідно на 30,0 і 21,0 %. Розроблена ресурсоощадна технологія відмочувально-зольних процесів забезпечує отримання шкіряного матеріалу із збільшеним виходом площі на 3,9 %, дещо більшою його розривною міцністю порівняно з діючою технологією, який відповідає вимогам ДСТУ 3115-95 «Шкіра для швейних виробів. Загальні технічні умови».

Перспективи подальших досліджень

Отримані результати при розробленні екологічно орієнтованої ресурсоощадної технології відмочувально-зольних процесів виробництва шкір для верху взуття з сировини великої рогатої худоби можуть бути ефективно використані при розробленні нових інноваційних технологій виготовлення шкіряних матеріалів широкого асортименту з інших видів сировини.

Література

1. Katie H. Sizeland, Richard L. Edmonds, Melissa M. Basil-Jones, Nigel Kirby, Adrian Hawley, Stephen Mudie, and Richard G. Haverkamp. Changes to Collagen Structure during Leather Processing. J. Agric. Food Chem. 2015. 63. P. 2499–2505.

2. Саблій Л. А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод : монографія / Л. А. Саблій. – Рівне : НУВГП, 2013. – 291 с.
3. Павлова М. С. Основы экологического анализа технологии кожевенного производства / М. С. Павлова // Экологический вестник. – 1995. – № 2. – С. 1–8.
4. Павлова М. С. Экологический аспект химической технологии кожи / Павлова М. С. – Москва : Моск. госуд. академ. легкой пром., 1997. – 191 с.
5. Pawłowa M. Ekologiczne aspekty przetwórstwa skóry i odpadów skórzanych. Radom: IteE, 1995. 76 s.
6. Маликов А. С. Технология комплексной очистки сточных вод от процессов переработки шкур КРС в полуфабрикат Wet-blue / А. С. Маликов, А. А. Рязанцев, М. А. Гольдфингер // Тезы докл. Междунар. конф. «Экол. проблемы кожев. пр-ва и пути их решения», (Москва, 15–16 декабря 2004 г.). – Москва : ФГУП ЦНИИ кожев.-обув. пром., 2004. – С. 28–30.
7. Салтыкова В. С. Очистка сточных вод кожевенного завода / В. С. Салтыкова, В. И. Александров, Л. Т. Бахшиева // Тезы докл. Междунар. конф. «Экол. проблемы кожев. пр-ва и пути их решения» (Москва, 15–16 декабря 2004 г.). – Москва : ФГУП ЦНИИ кожев.-обув. пром., 2004. – С. 18–19.
8. Чурсин В. И. Экология кожевенного производства / В. И. Чурсин // Тезы докл. Междунар. конф. «Экол. проблемы кожев. пр-ва и пути их решения», (Москва, 15–16 декабря 2004 г.). – Москва : ФГУП ЦНИИ кожев.-обув. пром., 2004. – С. 3–4.
9. Данилкович А. Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра / А. Г. Данилкович. – Київ : Фенікс, 2006. – 340 с.
10. Кутянин Г. И. Исследование физико-механических свойств кожи / Г. И. Кутянин. – Москва: Гизлегпром, 1956. – 196 с.
11. Технологічна методика виробництва шкір різноманітного асортименту для верху взуття і підкладки взуття, галантерейних виробів із шкур великої рогатої худоби та кінських. – Київ : АТ Чинбар, 2003. – 64 с.

References

1. Katie H. Sizeland, Richard L. Edmonds, Melissa M. Basil-Jones, Nigel Kirby, Adrian Hawley, Stephen Mudie, and Richard G. Haverkamp. Changes to Collagen Structure during Leather Processing. J. Agric. Food Chem. 2015. 63. R. 2499–2505.
2. Sablii L. A. Fizyko-khimichne ta biolohichne ochyshchennia vysokokontsentryovanykh stichnykh vod : monohrafiia / L. A. Sablii. – Rivne : NUVHP, 2013. – 291 s.
3. Pavlova M. S. Osnovy jekologicheskogo analiza tehnologii kozhevennogo proizvodstva / M. S. Pavlova // Jekologicheskij vestnik. – 1995. – № 2. – S. 1–8.
4. Pavlova M. S. Jekologicheskij aspekt himicheskoi tehnologii kozhi / Pavlova M. S. – Moskva : Mosk. gosud. akadem. legkoj prom., 1997. – 191 s.
5. Pawłowa M. Ekologiczne aspekty przetwórstwa skóry i odpadów skórzanych. Radom: IteE, 1995. 76 s.
6. Malikov A. S. Tehnologija kompleksnoj ochistki stochnykh vod ot processov pererabotki shkur KRS v polufabrikat Wet-blue / A. S. Malikov, A. A. Rjazancev, M. A. Gol'dfinger // Tezy dokl. Mezhdunar. konf. «Jekol. problemy kozhev. pr-va i puti ih reshenija», (Moskva, 15–16 dekabrja 2004 g.). – Moskva : FGUP CNII kozhev.-obuv. prom., 2004. – S. 28–30.
7. Saltykova V. S. Ochistka stochnykh vod kozhevennogo zavoda / V. S. Saltykova, V. I. Aleksandrov, L. T. Bahshieva // Tezy dokl. Mezhdunar. konf. «Jekol. problemy kozhev. pr-va i puti ih reshenija» (Moskva, 15–16 dekabrja 2004 g.). – Moskva : FGUP CNII kozhev.-obuv. prom., 2004. – S. 18–19.
8. Chursin V. I. Jekologija kozhevennogo proizvodstva / V. I. Chursin // Tezy dokl. Mezhdunar. konf. «Jekol. problemy kozhev. pr-va i puti ih reshenija», (Moskva, 15–16 dekabrja 2004 g.). – Moskva : FGUP CNII kozhev.-obuv. prom., 2004. – S. 3–4.
9. Danylkovich A. H. Praktikum z khimii i tekhnologii shkiry ta khutra / A. H. Danylkovich. – Kyiv : Feniks, 2006. – 340 s.
10. Kutjanin G. I. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svojstv kozhi / G. I. Kutjanin. – Moskva: Gizlegprom, 1956. – 196 s.
11. Tekhnolohichna metodyka vyrobnytstva shkir riznomanitnoho asortymentu dlia verkhu vzuttia i pidkladky vzuttia, halantereynykh vyrobiv iz shkur velykoi rohatoi khudoby ta kinskykh. – Kyiv : AT Chynbar, 2003. – 64 s.

Рецензія/Peer review : 26.07.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

ДІТКОВСЬКА О. А.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5608-2103>e-mail: ditkovskao@khnmu.edu.ua

ЛУЩЕВСЬКА О. М.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2689-798X>e-mail: lushchevskao@khnmu.edu.ua

БУХАНЦОВА Л. В.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3452-4593>e-mail: bukhantsovaliu@khnmu.edu.ua

КЕЙП: ІСТОРИЧНЕ МИНУЛЕ ТА МОДНА СУЧАСНІСТЬ

В роботі проведено дослідження історичних та сучасних моделей жіночого плечового одягу типу кейп, що має багатовікову історію та є модним трендом сучасності. Проведено ретроспективний аналіз видів, форми та різноманіття оздоблення кейп за період з 1750-х до початку 1900-х років. Встановлено, що за свою історію з простої накидки із грубого сукна чи вовни з кінця XVIII ст. кейп, окрім прямого призначення оберігати від холоду, почав виконувати ще й естетично-інформаційну функцію, оскільки отримав статус елементу гардеробу знаті та багатих верств населення. Враховуючи надзвичайне різноманіття конструктивних та стилістичних рішень сучасних моделей кейп, рекомендовано відділити поняття "кейп" від поняття "накидка" чи "пальто" і вважати самостійним видом плечового одягу з оригінальним кроєм. Доведено, що історичний одяг є актуальним сьогодні та невичерпним джерелом натхнення для сучасних дизайнерів, які є суб'єктами різних сегментів системи моди.

Ключові слова: кейп, ретроспективний аналіз, колекція, джерело творчості, оздоблення, дизайн одягу.

Olesya DITKOVSKA, Olena LUSHCHEVSKA, Liudmyla BUKHANTSOVA
Khmelnitskyi National University

CAPE: HISTORICAL PAST AND FASHIONABLE PRESENT

The paper studies historical and modern models of women's shoulder cape-type clothing, which has a long history and is a fashion trend of our time. A retrospective analysis of the types, shapes and varieties of cape decoration for the period from the 1750 to the early 1900 was carried out based on photographs of original cape models stored in museum funds. It has been established that during its history from a simple cape made of coarse cloth or wool from the end of the 18th century the cape, in addition to its direct purpose to protect from the cold, began to perform an aesthetic and informational function, as it received the status of an element of the wardrobe of the nobility and the wealthy segments of the population. For the elite, capes like a cape were sewn from expensive and luxurious fabrics, decorated with embroidery, ribbons, fringe, lace, jewellery, embroidered with cords, lined with fur, in order to emphasize the owner's belonging to high society with all their appearance.

It has been proven that historical clothes are relevant today and are an inexhaustible source of inspiration for modern designers who are subjects of different segments of the fashion system. Modern capes are extremely different from ancient models, have the greatest variety of types, shapes, options for stylistic embodiment than ever before. It is obvious that the "cape", as a design option for clothing, has gone beyond the concept of "shoulder cape" or "coat", and therefore should be considered an independent type of shoulder clothing. It has been established that by applying the principles of eclecticism through quotation, stylization or interpretation in costume design, it is possible to design an individual and unique image that will always create preferences for identifying its owner. A vivid example of this is the cape in the collections of world designers.

Key words: cape, retrospective analysis, collection, source of creativity, decoration, clothing design.

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

Кожна епоха створювала свій естетичний ідеал краси людського тіла, ідеал жіночності, свій художній стиль в одязі. Історичний розвиток зміни костюма обумовлені модою та стилем епохи. З плином часу людство повертається до забутого і відтворює його в нових предметах та деталях. Щосезону дизайнери одягу дивують нас новими колекціями, проте у кожному з них є "нота" забутого минулого.

Одним з фаворитів модних показів колекцій відомих дизайнерів та стійкий тренд останніх років є жіночий кейп, що розпочав свою історію ще у середньовіччі. Історично цей вид верхнього одягу відносять до накидок, однак повертаючись у моду різних історичних періодів, кейп змінювався як функціонально, так і конструктивно, відтворюючи естетичні ідеали нового часу та, поступово, змінюючи свою головну функцію від просто утилітарної до естетично-інформаційної [1].

Існує велика кількість досліджень історичного аспекту різних видів одягу, в тому числі і кейп, що базуються на зразках музейних експонатів чи приватних колекцій, фотографій, картин та гравюр різних часів, на описах давніх писемних джерел чи у художній літературі. Кожен період життя моди має свою тривалість і специфіку, а оцінка модного костюма в рамках цього періоду трансформується в суспільній свідомості, набуваючи з часом нових рис та значення. Те, що моделі кейпу, пройшовши період забуття, знову захопили світові подіуми та залишаються в тренді більше п'яти років, свідчить про актуальність досліджень еволюції даного виду одягу та трансформації історичних кейп у сучасні види і стилістичні образи за допомогою ретроспективного аналізу.

Аналіз останніх джерел

В публікаціях останніх років, що присвячені дизайн-проектуванню колекцій сучасного модного одягу можна відстежити кілька напрямів досліджень.

Традиційно творчими джерелами в дизайн-проектуванні можуть бути будь-які матеріальні чи нематеріальні явища, під впливом яких у дизайнера виникає певна ідея, яка конкретно або узагальнено втілюється у образ, що поступово трансформується в форму, колір та елементи. Для створення колекцій останніх років за джерело творчості обирали предмети декоративно-прикладного мистецтва [2, 3], етнічні мотиви та елементи оздоблення національного одягу [4, 5], тваринний та рослинний світ [6], архітектура та урбанізм міст [7, 8], нові матеріали та технології [9, 10], соціальні катаклізми у суспільстві, проблеми екології та вторинної переробки матеріалів, а також еко-стиль [11–13], ретро-моду [14, 15] та вінтаж [16].

Більш комплексно та структурно досліджують основні тенденції, інновації розвитку та фактори функціонування моди як системи сучасні українські науковці: Н.В. Чупріна, М.В. Колосніченко, К.Л. Пашкевич, Л. Білякович та інші [14, 17, 18]. На їх думку, адаптація творчих задумів і модних стандартів минулих періодів моди, в першу чергу європейської моди 1920-х – 1980-х рр., а також етнічних мотивів, запозичених з національних традицій різних народів і регіонів, є однією з основоположних тенденцій формування актуальних проектних образів в системі моди початку XXI сторіччя [17, 18]. Дизайнери усвідомлено подають створені ними костюми чи образи як компіляцію окремих ретро-елементів, етно- чи фольк-мотивів використаних на основі цитування або стилізації. При цьому, прогресивність виявляється в застосуванні інноваційних технологій, матеріалів чи маркетингових механізмів, а ретроспективна складова стосується культурно-естетичних властивостей проектних образів: стилізації художніх форм, еkleктики елементів історичних стилів та сучасних субкультурних віянь тощо [14, 15].

Вивчення історизму в дизайні одягу є важливим та актуальним напрямом не лише сучасної fashion-індустрії, а й мистецтвознавства в цілому [19, 20]. Так, відповідно до прийнятої у теорії дизайну класифікації, основними творчими методами в проектуванні костюма є реконструкція, реплікація, цитування, стилізація, імітація, інтерпретація, асоціація, які в межах «постмодерністського еkleктичного історизму» доповнюються специфічними методами та прийомами або ж набувають нових ознак [19].

Fudimova E. стверджує, що саме історична реконструкція одягу, як один із прикладних підходів до вивчення історії, є комплексним методом пізнання, який акумулює інші методи дослідження для найбільш повного і точного відтворення об'єкта, явища чи події минулого і водночас відображення історико-культурної дійсності [20]. Реконструкція історичного костюму, для відтворення образу певного хронологічного періоду в конкретному регіоні, несе не лише цінність у науковій та дизайнерській діяльності спеціалістів, які займаються збереженням та поповненням музейних експозицій, а має і цілком практичне застосування у сучасній кіноіндустрії, на фестивалях історичних реконструкцій та івент-індустрії.

Проведений аналіз показав, що дизайн-проектування сучасного одягу з погляду ретроспективності є надзвичайно актуальним. Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених даному питанню, більшість із них зосереджена на комплексному дослідженні історизму та його інтерпретації в сучасній моді. При цьому майже немає сучасних досліджень, що присвячені ретроспективним дослідженням конкретного історичного костюму, предмету, чи виду одягу, як, наприклад, кейпу.

Формулювання цілей статті

Метою даного дослідження є формування вихідних даних для створення сучасних моделей жіночого кейпа на базі композиційної структури історичного костюму з позиції ретроспективного аналізу.

Виклад основного матеріалу

Жіночий гардероб постійно поповнюється новими оригінальними моделями. Велика їх частина є поєднанням звичних для нас речей один з одним, в результаті чого з'являються несподівані відкриття. Прекрасним прикладом останнього та джерелом натхнення кожного сучасного дизайнера є, знову надзвичайно актуальний, кейп. Сучасний стильний кейп для жінок насправді має свою багату історію, якій більше тисячі років. З плином часу цей вид одягу змінював свою форму, зовнішній вигляд, пропорції, а, головне, призначення. Тому в даній роботі викладено дослідження, що зможуть провести паралелі та дати відповідь на такі питання як: чому стародавній одяг повертається і знову стає ультрамодним; як змінилися художньо-композиційні рішення плечового виробу за довгий історичний період; що саме являє собою кейп в сучасній моді і fashion-індустрії?

На сьогоднішній день існує кілька трактувань цього виду одягу. З погляду історії костюму та сучасної швейної термінології "Кейп" (англ. *Cape* – мис, плащ, накидка, капюшон, пелерина) – це різновид верхнього плечового одягу, а саме накидка без рукавів і пройм вільного (звичай трапецевидного) крою, із застібною або без, і може мати отвори для рук [21]. Основною особливістю, що відрізняє кейп від пончо і пелерин – це чітко сконструйована лінія плечей [22]. Деякі сучасні науковці визначають кейп як різновид пальта, що немає рукавів, але має отвори для рук [23]. Проте жодне з цих визначень не може цілком відтворити сутність того об'єкту дизайну, яким на сьогоднішній день став кейп.

Жіночий кейп став беззаперечним трендом модних сезонів та знову увірвався на світові модні подіуми ще з 2013 року, а піку своєї популярності досяг у 2018–2021 роках [22, 24–27]. Він підкорив серця багатьох зарубіжних і вітчизняних знаменитостей сучасності, які продемонстрували модні луки з кейпом

(рис. 1). Зокрема стильні образи з кейпом продемонстрували Герцогиня Кембриджська, Кейт Міддлтон у 2016 році, перша леді України Олена Зеленська на інавгурації в 2019 році, перша леді США Меланія Трамп у 2019 році та багато інших відомих світові публічних особистостей.



Рис. 1. Модні кейпи у гардеробі знаменитостей

Першими відродили кейп в якості модної верхньої частини одягу відразу декілька брендів – Chloé і Alexander Wang у колекціях 2011 року. Далі кейпи почали з'являтися в колекціях таких брендів, як Valentino, Elie Saab, Burberry, Christian Dior, Michael Kors, Rebecca Minkoff, Fendi, Louis Vuitton's, Gareth Pugh, Marni, D & G, Jason Wu, Marc Jacobs, Boss, Max Mara та багато інших [25–28]. До 2022 року кейпи стали найбільш затребуваним видом жіночого одягу, що асоціюється із королівською вишуканістю, жіночністю, елегантністю, неповторністю створення образу, а також високою індивідуальністю власниці модного гардеробу.

Сучасні кейпи мають найбільшу різноманітність видів, форм, варіантів стилістичного втілення ніж будь-коли до того, за свою тисячолітню історію. В супереч поширеній думці про те, що кейп – це накидка чи пальто, сучасні дизайнери та всесвітньо відомі Будинки мод в своїх колекціях пропонують кейп-куртки, кейп-жакети, кейп-пальто, кейп-кардигани, вечірній варіант кейп у вигляді багато оздобленої накидки, кейп-сукні, кейп-блузи і, навіть, кейп-комбінезони (рис. 2).



Рис. 2. Варіації сучасних кейп: а) кейп-сукня; б) кейп-джемпер; в) вечірній кейп; г, д) кейп-блуза; е) кейп-кардиган; ж) жакет-кейп; з) кейп-плащ; к) кейп-пальто; л) кейп-комбінезон

Сучасні моделі кейп можуть бути найрізноманітніші: без застібки, або із застібкою біля горловини; із поясом, із капюшоном чи без, із комірами різних типів і без, із зміщеною застібкою на гудзики, на блискавку, із кишенями і без них. Модні кейпи, залежно від призначення, можуть бути різної довжини, але частіше від лінії стегон до середини стегна. Можуть виготовлятися із легкої атласної і шовкової тканини для вечірніх образів, із щільної шерстяної чи кашемірової тканини для повсякденного вжитку, а також із замші, шкіри або сукна, і навіть в'язані з трикотажу, що дозволяє носити його в різноманітну погоду і у різних випадках. Єдина вимога – тканина має тримати форму, оскільки конструкція кейпу передбачає крій по косій.

Щоб оцінити які шалені трансформації відбулися з даним видом одягу, варто заглибитися в історичне минуле та провести ретроспективний аналіз.

Першоджерелом даного предмету гардеробу вважають улюблений одяг древніх греків, а саме як елемент верхнього одягу він з'явився у середньовічній Англії. В ті часи англійські лицарі неодмінно брали з собою в походи довгу накидку з вовни з глибоким капюшоном, що зав'язувалася навколо шиї і захищала від несприятливої погоди, і нерідко слугувала ковдрою. Такі ж накидки носили ченці і мандрівники. В XVI ст. для зручності користування їздячи верхи на конях, у захисній мантиї з'явилися прорізи для рук і додаткові зав'язки на грудях, що значно підвищило практичність одягу. У Вікторіанську епоху (1837–1901) такі накидки отримали назву "кейп" і стали "уніформою" майже всіх родів військ Британської імперії [22, 28], а століттям раніше перейшли у жіночий гардероб.

Саме в жіночому гардеробі цей вид накидки набув шаленої популярності та став надзвичайно різноманітним як за видом, так і за багатством оздобленням, використанням основним матеріалом і за призначенням. Їх популярність пояснюється тим, що пальто, як вид теплої одягу до XIX сторіччя був мало відомим та непопулярним, а тепло одягатися було потрібно. Також і пишні сукні тих років часом не дозволяли одягати верхній одяг з прямим фасоном і довгими вузькими рукавами.

Історія моди знає чимало прикладів, коли схожі, споріднені речі в різні періоди і в різних регіонах позначалися різними назвами. Різні народи називали одяг такого роду на свій лад, наприклад, першими з відомих стали: "бурнус" (фр. Burnous) – це плащ з капюшоном з грубої вовняної тканини, частіше білого кольору, що накидався на плечі, у арабів і берберів; "бурка" – плащ білого, чорного або бурого кольору, зроблений з повсті, поширений у народів Кавказу; "салоп" – верхній жіночий одяг у вигляді широкої довгої накидки з пелериною і прорізами для рук або короткими рукавами в Західній Європі і в Росії в кінці XIII століття.

З середини XIX ст. з'явилися й інші назви верхніх накидок-плащів, як "тальма" – коротка і неширока накидка із невисоким коміром стояком, що зав'язувалася навколо шиї стрічками і оздоблювалася мереживом і бахромою; "ротонда" – широкий довгий, до щиколоток, верхній жіночий одяг типу накидки зі стоячим коміром, іноді теплий, на хутрі; "санти-де-баль" і "орера саре" – це довга святкова накидка до підлоги, з легких тканин або мережива, з багатим оздобленням, що прикривала вечірню сукню та інші [28, 29].

За пошуком даних у мережі Інтернет, зокрема на платформі фото-сервісу Pinterest та за допомогою онлайн-платформи Google Arts & Culture було проаналізовано значну кількість фотографій оригінальних моделей кейп та накидок різних часів, що зберігаються у музейних фондах та приватних колекціях. На рис. 3 представлено фрагмент вибірки фотографій антикварних моделей кейп, що сформована для дослідження, за період з 1750-х до початку 1900-х років (рис. 3).



Рис. 3. Фотографій оригінальних моделей кейп, що зберігаються у музейних фондах (фрагмент вибірки)

Аналізуючи фотографії, можна просліджувати чіткі тенденції видозміни одягу. Зокрема, на початку своєї історії зимові накидки зазвичай були довжиною до підлоги, хоча на теплу пору могли бути і більш вкорочені моделі, як наприклад модель 1751 року (виготовлена з бордової шерсті на атласній підкладці та оздоблена норковим хутром). На початку 1900-х років, поруч з довгими варіантами, більш розповсюдженими стали моделі кейп довжиною до лінії стегна, зокрема роботи відомого Emile Pingat. Конструктивно накидку викроювали по типу прямокутника, і закладали в складки навколо шиї або як "напів-сонце", чи "колокол", пізніше з'являлися моделі з вертикальними членуваннями. Зазвичай фіксувалися накидки навколо шиї: зав'язувалися на стрічки, на плетені шнури, пізніше на гудзики або гачки. Цікавими є моделі з кінця 1890-х – початку 1900 років: тоді акцент перемістився на плечову ділянку і, в

області окату, почали настрочувати (формуючи буфи чи складки) деталі, що були відлітні та імітували рукав, проте були не з'єднані між собою, а лише прикривали отвори для рук. Образ та акценти доповнював комір-стояк різної висоти і форми, що прийшов на зміну капюшону та великих відкладних комірів. Щодо матеріалів, то використовувалися важкі вовняні тканини, що мали високі захисні властивості, проте поступово матеріали ставали більш витонченими, а роль декорування збільшувалася.

За багаторічну історію з простої накидки із грубого сукна чи вовни, кейп став модним елементом гардеробу у представниць вищого світу, а з середини XIX ст. навіть перейшов у категорію вечірнього одягу. Для еліти подібні до кейпу накидки шилися з дорогих і розкішних тканин, декорувалися вишивкою, стрічками, бахромою, мереживом, коштовностями, розшивалися шнурками, підбивалися хутром, щоб всім своїм видом підкреслити належність власниці до вищого суспільства. Таким чином, можна констатувати той факт, що з кінця XVIII ст. кейп, окрім прямого призначення оберігати від холоду, почав виконувати ще й естетично-інформаційну функцію.

На відміну від інших назв для одягу такого виду, саме поняття "кейп" прорвалося в сучасну моду і закріпилося в модній термінології. Новий модний сплеск накидок і кейп стався в 1950-і роки. Тоді кейп знову став культовою річчю завдяки П'єру Кардену, Оззі Кларк, Емілію Пуччі, Ніні Річчі та дизайнерів із світовими іменами, що тріумфально повернули його на модний олімп [22, 28]. Моделі, форма і вид кейпу знову змінилися: в більшості випадків довжиною стали до коліна, обов'язково мали отвори для рук, що по різному оброблялися, почали з'являтися підрізи та горизонтальні членування, виготовлялися з асиметричними та зміщеними застібками на гудзики, силует змінювався від трапецевидного, до О-подібного чи прямого. Таким чином, кожен новий виток історії та моди впливали на видозміну даного плечового одягу, проте незмінним залишалося одне – вишуканість образу та відсутність рукавів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведено дослідження з вивчення асортименту та композиційної структури історичних і сучасних модних моделей жіночого кейпу з позиції ретроспективного аналізу. Дослідження оригінальних історичних моделей жіночого кейпу показало, що за період своєї багатовікової історії цей вид одягу не лише набув значних трансформацій у зовнішньому вигляді, формі та оздобленні, а й змінив свій статус від простої накидки до елементу гардеробу знаті та багатих верств населення. Вартість матеріалів та оздоблення кейпу говорили про проходження та статус власниці, таким чином поряд із основною утилітарною функцією він почав виконувати естетично-інформаційну роль.

Сучасні кейпи надзвичайно відрізняються від давніх моделей, мають найбільшу різноманітність видів, форм, варіантів стилістичного втілення ніж будь-коли до того, за свою тисячолітню історію, проте залишилося незмінним відчуття розкішності, стилю, вишуканості, а також оригінальності образу, до якого входить кейп. Очевидним стає той факт, що кейп, як варіант конструктивного рішення одягу, вийшов за межі поняття "накидка" чи "пальто", а тому варто вважати його самостійним різновидом плечового одягу.

Проведений нами аналіз дає підстави зробити висновок, що історичний одяг як і всі інші інформаційні складові певної історичної епохи (музичні твори, література, освіта та світогляд, зброя та побудові речі, традиції та світоглядні бачення, філософія того часу) є невичерпним джерелом натхнення для сучасних дизайнерів, які є суб'єктами різних сегментів системи моди. Встановлено, що за допомогою застосування принципів еkleктизму за допомогою цитування, стилізації або інтерпретації в дизайні костюма можливо спроектувати індивідуальний та унікальний образ, який завжди створюватиме переваги для ідентифікації свого власника. При цьому, актуальним залишається пошук складових історичного костюму, що може стати основою для розробки проектного образу сучасного модного кейпу, що стане метою подальших досліджень.

Література

1. Яременко І.М. Ретроспективний аналіз та сучасне бачення модного кейпу / І.М. Яременко, О.А. Дітковська // Тези доповідей XVIII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі». – Київ, КНУТД. 18-19 квітня 2019. – Том 1. – С. 57–58.
2. Krasniuk L. Designing the author's collection of women's clothing with the use of painting as the source of inspiration / L. Krasniuk, O. Troyan // *Vlakna a Textil (Fibres and Textiles)*. – 2020. – № 3 (27). – Р. 97–102.
3. Печерська В.П. Дослідження художньо-композиційних характеристик елементів творчості Фернана Леже з метою розробки сучасної колекції одягу / В.П. Печерська, Н.В. Чупріна, Н.І. Кудрявцева // *Технології та дизайн*. – 2019. – № 1 (30).
4. Кияшко М.С. Вивчення художньо-композиційних характеристик костюма трипільської культури в проектуванні сучасних колекцій одягу / М.С. Кияшко, Т.В. Ніколаєва, Т.І. Ніколаєва // *Технології та дизайн*. – 2018. – № 2(27).
5. Абрамова О.В. Дизайн-проекування авторської колекції одягу з використанням техніки печворк / О.В. Абрамова, О.В. Єжова, Л.О. Чистякова, І.О. Кудревич // *Art and Design*. – 2020. – № 1. – С. 28–40. – DOI: 10.30857/2617-0272.2020.1.2.
6. Краснюк Л.В. Дизайн-проекування авторської колекції одягу в романтичному стилі / Л.В. Краснюк, О.М. Троян, К.М. Туржанська, Ю.С. Глушко // *Art and Design*. – 2019. – № 3. – С. 77–88.

7. Васильєва О.С. Архітектура як джерело натхнення для розробки авторських колекцій одягу / О.С. Васильєва, М.С. Винничук, І.В. Васильєва, І.В. Олійник // *Art and Design*. – 2020. – № 1 (09). – С. 70–81. DOI: 10.30857/2617-0272.2020.1.5.
8. Маркова А.В. Вивчення взаємодії художньо-композиційних характеристик неофутуристичного напрямку та біонічного формоутворення для проектування сучасних колекцій / А. В. Маркова, Н. О. Науменко, А. Л. Чебанова, Т. І. Ніколаєва // *Технології та дизайн*. – 2018. – №1 (26).
9. Zasornova I. Usage of augmented reality technologies in the light industry / Iryna Zasornova, Oksana Zakharkevich, Alexander Zasornov, Svetlana Kuleshova, Julia Koshevko and Tetiana Sharan // *Vlakna a Textil (Fibres and Textiles)*. – 2021. – № 3(28). – P. 106–118.
10. Станко А.Ю. Дизайн-проекування авторського ансамблю одягу з використанням принту «ефект деграде» / А.Ю. Станко, М. Луцевська // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2019. – № 6. – С. 58–63. – DOI: 10.31891/2307-5732-2019-279-6-58-63
11. Краснюк Л.В. Проектування авторської колекції жіночого одягу в еко-стилі із використанням оздоблення в техніці вибійки / Л.В. Краснюк, М.В. Матрофайло, О.М. Троян // *Art and Design*. – 2018. – № 3. – С. 96–106. – DOI: 10.30857/2617-0272.2018.3.9.
12. Бабич А.І. Розробка колекції жіночого взуття в екостилі з вживаних речей / А.І. Бабич, Н.М. Борщевська, Л.О. Федоренко, А.О. Бабич // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2020. – № 3. – С. 198–203.
13. Родигіна А. 20 відомих українських sustainable-брендів / Алла Родигіна [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://elle.ua/moda/fashion-blog/20-vdomih-ukrainskih-sustainable-brendv/> (дата звернення: 21.06.2022)
14. Колосніченко М.В. Ретроспективність як проектна практика формування актуальних образів у системі моди ХХІ століття / М.В. Колосніченко, Н.В. Чупріна // *Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв*. – 2019. – № 2. – С. 386–391.
15. Чупріна Н.В. Еклектизм як основа проектних практик у сучасній системі моди / Н.В. Чупріна, М.В. Колосніченко // *Дизайн одягу в полікультурному просторі: монографія* / М.В. Колосніченко, К.Л. Пашкевич, Т.Ф. Кротова та ін. – Київ : КНУТД, 2020. – С. 88–105.
16. Ніколаєва Т. В. Художньо-композиційні особливості використання елементів стилю вінтаж в дизайні сучасного одягу / Т.В. Ніколаєва, І. Л. Гайова, І. В. Давиденко // *Art and Design: Мистецтвознавство. Технічні науки*. – 2019. – № 1. – С. 127–139. – DOI: 10.30857/2617-0272.2019.11.
17. Chuprina N.V. Formation of fashion system in the XX - the beginning of the XXI century / N.V. Chuprina, T.F. Krotova, K.L. Pashkevich, T.V. Kara-Vasylieva and M.V. Kolosnichenko // *Vlakna a Textil*. – 2020. – № 27(4). – P. 48–57.
18. Білякович Л. Темпоральність у структурі модних трендів: сутність, динаміка, прогнозування / Л. Білякович // *Вісник Львівської національної академії мистецтв*. – 2018. – Вип. 36. – С. 229–244.
19. Галудзіна-Горобець В.І. «Історизм» у дизайні одягу другої половини ХХ – початку ХХІ ст.: теоретико-методологічний аспект / В.І. Галудзіна-Горобець // *Вісник Львівської національної академії мистецтв*. – 2018. – № 38. – С. 93–111.
20. Fudimova E. The Concepts of Historical Costume Reenactment / E. Fudimova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1079 (04). 042097. – 2021. – DOI: 10.1088/1757-899X/1079/4/042097.
21. ДСТУ 2027-92. Вироби швейні й трикотажні. Терміни та визначення. – [Чинний від 01.01.1993]. – К. : Держстандарт України, 1992. – 20 с. – (Державний стандарт України)
22. Кейп. Енциклопедія моди [Електронний ресурс] // *Casual : женский журнал о моде, стиле и красоте*. – Режим доступу : <https://www.casual-info.ru/wiki/Кейп> (дата звернення 19.06.2022)
23. *Visual Dictionary In Textiles & Apparel* / E. Elnashar, O. Zakharkevich, G. Shvets, A. Selezneva. – Khmelnytsky : KhNU, 2019. – 183 p.
24. Модные пальто-кейп – 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://modnaya.org/verhnyaya-odezhda/6753-modnye-palto-keyp-2017.html> (дата звернення 21.06.2022)
25. Тренд осені — 2019: Зачем нам нужны кейпы в гардеробе и как их правильно носить [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://official-online.com/lmoda/trendy/how-to-wear-cape-autumn-2019/> (дата звернення 21.06.2022)
26. Модные кейпы осень-зима 2020-2021 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.fashion-woman.com/stil-i-moda/must-have/keyp-must-have-oseni/> (дата звернення 21.06.2022)
27. Самые модные кейпы осень-зима 2021/2022 – Vogue Ukraine [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://vogue.ua/article/fashion/tendencii/samye-modnye-keypy-osen-zima-2021-2022.html>
28. Королевский выход: как кейпы вновь оказались на острие моды. Wonderzine [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.wonderzine.com/wonderzine/style/trends/246263-cape> (дата звернення 19.06.2022)
29. Ротонда, сак, салон, бурнус, тальма, мантилья, клок [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://antique-fashion.livejournal.com/90084.html?> (дата звернення 19.06.2022)

References

1. Iarenenko I.M. Retrospektyvnyi analiz ta suchasne bachennia modnoho keip / I.M. Yarenenko, O.A. Ditkovska // Tezy dopovidei KhVIII Vseukrainskoi naukovoï konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv «Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi». – Kyiv, KNUTD. 18-19 kvitnia 2019. – Tom 1. – S. 57–58.
2. Krasniuk L. Designing the authors collection of womens clothing with the use of painting as the source of inspiration / L. Krasniuk, O. Troyan // *Vlakna a Textil (Fibres and Textiles)*. – 2020. – № 3 (27). – R. 97–102.
3. Pecherska V.P. Doslidzhennia khudozhno-kompozytsiinykh kharakterystyk elementiv tvorchosti Fernana Lezhe z metoiu rozrobky suchasnoi koleksii odiahu / V.P. Pecherska, N.V. Chuprina, N.I. Kudriavtseva // *Tekhnolohii ta dyzain*. – 2019. – № 1 (30).
4. Kyiashko M.S. Vyvchennia khudozhno-kompozytsiinykh kharakterystyk kostiuma trypilskoi kultury v proektuvanni suchasnykh koleksii odiahu / M.S. Kyiashko, T.V. Nikolaieva, T.I. Nikolaieva // *Tekhnolohii ta dyzain*. – 2018. – № 2(27).
5. Abramova O.V. Dydzain-proiektuvannia avtorskoi koleksii odiahu z vykorystanniam tekhniki pechvork / O.V. Abramova, O.V. Yezhova, L.O. Chystiakova, I.O. Kudrevych // *Art and Design*. – 2020. – № 1. – S. 28–40. – DOI: 10.30857/2617-0272.2020.1.2.
6. Krasniuk L.V. Dydzain-proiektuvannia avtorskoi koleksii odiahu v romantychnomu styli / L.V. Krasniuk, O.M. Troian, K.M. Turzhanska, Yu.S. Hlushko // *Art and Design*. – 2019. – № 3. – S. 77–88.
7. Vasyliava O.S. Arkhitektura yak dzhereło natkhnennia dlia rozrobky avtorskykh koleksii odiahu / O.S. Vasyliava, M.S. Vynnychuk, I.V. Vasyliava, I.V. Oliinyk // *Art and Design*. – 2020. – № 1 (09). – S. 70–81. DOI: 10.30857/2617-0272.2020.1.5.
8. Markova A.V. Vyvchennia vzaiemodii khudozhno-kompozytsiinykh kharakterystyk neofuturystychnoho napriamku ta bionichnogo formoutvorennia dlia proektuvannia suchasnykh koleksii / A. V. Markova, N. O. Naumenko, A. L. Chebanova, T. I. Nikolaieva // *Tekhnolohii ta dyzain*. – 2018. – №1 (26).
9. Zasornova I. Usage of augmented reality technologies in the light industry / Iryna Zasornova, Oksana Zakharkevich, Alexander Zasornov, Svetlana Kuleshova, Julia Koshevko and Tetiana Sharan // *Vlakna a Textil (Fibres and Textiles)*. – 2021. – № 3(28). – R. 106–118.
10. Stanko A.Iu. Dydzain-proiektuvannia avtorskoho ansamblu odiahu z vykorystanniam pryntu «efekt dehrade» / A.Iu. Stanko, M. Lushchevska // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. Tekhnichni nauky*. – 2019. – № 6. – S. 58–63. – DOI : 10.31891/2307-5732-2019-279-6-58-63
11. Krasniuk L.V. Proiektuvannia avtorskoi koleksii zhinochoho odiahu v eko-styli iz vykorystanniam ozdoblennia v tekhnitsi vybiiky / L.V. Krasniuk, M.V. Matrofaio, O.M. Troian // *Art and Design*. – 2018. – № 3. – S. 96–106. – DOI: 10.30857/2617-0272.2018.3.9.
12. Babykh A.I. Rozrobka koleksii zhinochoho vztuttia v ekostyli z vzhivanykh rechei / A.I. Babykh, N.M. Borshchevska, L.O. Fedorenko, A.O. Babykh // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. Tekhnichni nauky*. – 2020. – № 3. – S. 198–203.
13. Rodyhina A. 20 vidomykh ukrainskykh sustainable-brendiv / Alla Rodyhina [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://elle.ua/moda/fashion-blog/20-vdomih-ukrainskih-sustainable-brendiv/> (data zvernennia: 21.06.2022)
14. Kolosnichenko M.V. Retrospektyvnist yak proektna praktyka formuvannia aktualnykh obraziv u systemi mody KhKhI stolittia / M.V. Kolosnichenko, N.V. Chuprina // *Visnyk Natsionalnoi akademii kerivnykh kadrov kultury i mystetstv*. – 2019. – № 2. – S. 386–391.
15. Chuprina N.V. Eklektyzm yak osnova proektnykh praktyk u suchasni systemi mody / N.V. Chuprina, M.V. Kolosnichenko // *Dydzain odiahu v polikulturnomu prostori : monohrafiia / M.V. Kolosnichenko, K.L. Pashkevych, T.F. Krotova ta in.* – Kyiv : KNUTD, 2020. – S. 88–105.
16. Nikolaieva T. V. Khudozhno-kompozytsiini osoblyvosti vykorystannia elementiv styliu vintazh v dydzaini suchasnoho odiahu / T.V. Nikoleieva, I. L. Haiova, I. V. Davydenko // *Art and Design: Mystetstvosnavstvo. Tekhnichni nauky*. – 2019. – № 1. – S. 127–139. – DOI: 10.30857/2617-0272.2019.11.
17. Chuprina N.V. Formation of fashion system in the XX - the beginning of the XXI century / N.V. Chuprina, T.F. Krotova, K.L. Pashkevich, T.V. Kara-Vasyliava and M.V. Kolosnichenko // *Vlakna a Textil*. – 2020. – № 27(4). – R. 48–57.
18. Biliakovych L. Temporalnist u strukturi modnykh trendiv: sutnist, dynamika, prohnouzuvannia / L. Biliakovych // *Visnyk Lvivskoi natsionalnoi akademii mystetstv*. – 2018. – Vyp. 36. – S. 229–244.
19. Haludzina-Horobets V.I. «Istoryzm» u dydzaini odiahu druhoi polovyny KhKh – pochatku KhKhI st.: teoretyko-metodolohichniy aspekt / V.I. Haludzina-Horobets // *Visnyk Lvivskoi natsionalnoi akademii mystetstv*. – 2018. – № 38. – S. 93–111.
20. Fudimova E. The Concepts of Historical Costume Reenactment / E. Fudimova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1079 (04). 042097. – 2021. – DOI: 10.1088/1757-899X/1079/4/042097.
21. DSTU 2027-92. Vyroby shveini y trykotazhni. Terminy ta vyznachennia. – [Chynnyi vid 01.01.1993]. – K. : Derzhstandart Ukrainy, 1992. – 20 s. – (Derzhavnyi standart Ukrainy)
22. Kejp. Jenciklopediia mody [Elektronnij resurs] // *Casual : zhenskij zhurnal o mode, stile i krasote*. – Rezhym dostupu : <https://www.casual-info.ru/wiki/Kejp> (data zvernennia 19.06.2022)
23. Visual Dictionary In Textiles & Apparel / E. Elnashar, O. Zakharkevich, G. Shvets, A. Selezneva. – Khmelnytsky : KhNU, 2019. – 183 p.
24. Modnye pal'to-kejp – 2017 [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <https://modnaya.org/verhnyaya-odezhda/6753-modnye-palto-kejp-2017.html> (data zvernennia 21.06.2022)
25. Trend oseni — 2019: Zachem nam nuzhny kejpy v garderobe i kak ih pravil'no nosit'-Lofficiel [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <https://official-online.com/lmoda/trendy/how-to-wear-cape-autumn-2019/> (data zvernennia 21.06.2022)
26. Modnye kejpy osen'-zima 2020-2021 [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.fashion-woman.com/stil-i-moda/must-have/kejp-must-have-oseni/> (data zvernennia 21.06.2022)
27. Samye modnye kejpy osen'-zima 2021/2022 – Vogue Ukraine [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <https://vogue.ua/article/fashion/tendencii/samye-modnye-kejpy-osen-zima-2021-2022.html>
28. Korolevskij vyhod: kak kejpy vnov' okazalis' na ostrie mody. Wonderzine [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.wonderzine.com/wonderzine/style/trends/246263-cape> (data zvernennia 19.06.2022)
29. Rotonda, sak, salop, burnus, talma, mantylia, klok [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://antique-fashion.livejournal.com/90084.html?> (data zvernennia 19.06.2022)

Рецензія/Peer review : 11.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г.

Київський національний університет технологій та дизайну,
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»
<https://orcid.org/0000-0001-6258-0088>
e-mail: markzalubovskiy@gmail.com

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ГАЛУТВАЛЬНОЇ МАШИНИ ТИПУ «TURBULA» ПРИ ВИКОНАННІ ПОЛІРУВАННЯ ПОВЕРХНІ ДРІБНИХ ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ

Запропоновано спосіб вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula». Згідно запропонованого способу основний етап полірування поверхні деталей здійснюється абразивними керамічними тілами складної геометричної форми з додаванням дрібнодисперсної пемзи при реалізації змішаного каскадно-водоспадного режиму руху сипкого робочого середовища. Такий спосіб обробки деталей вважається високопродуктивним, час обробки деталей в середньому становить 15 годин безперервної роботи машини, що в декілька разів швидше ніж при обробці деталей у обертових галтувальних барабанах чи вібраційних машинах. Аналітичним шляхом виконано техніко-економічне обґрунтування застосування способу вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» для реалізації технологічної операції полірування поверхні поліефірних гудзиків. Розраховано очікуваний річний економічний ефект від впровадження розробленого способу вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula», що складе 14'059,8 грн на дві одиниці обладнання. Даний спосіб обробки може бути використаний для покращення якості поверхні будь-яких полімерних деталей з можливістю досягнення відповідного значення шорсткості їх поверхні. Отримані результати досліджень можуть бути використані у конструкторських бюро відповідних підприємств із виготовлення дрібних полімерних деталей, якість поверхні яких визначається органолептичним методом.

Ключові слова: полірування, полімерні деталі, галтувальна машина, робоча ємкість.

Mark ZALYUBOVSKIY

Kyiv National University of Technology and Design,
Open International University of Human Development "Ukraine"

TECHNICAL AND ECONOMIC RATIONALE FOR THE USE OF TURBULA TYPE MACHINING MACHINES IN POLISHING THE SURFACE OF SMALL POLYMER POLYMERS

A method of wet polishing of polymer parts using a galvanizing machine with a complex spatial movement of the working tank type «Turbula» is proposed. According to the proposed method, the main stage of polishing the surface of the parts is carried out by abrasive ceramic bodies of complex geometric shape with the addition of fine pumice in the implementation of mixed cascade-waterfall mode of movement of the bulk working medium. This method of processing parts is considered highly productive, the processing time of parts averages 15 hours of continuous operation of the machine, which is several times faster than when processing parts in rotating drum drums or vibrating machines. The latter are characterized by low productivity of the relevant technological operations. The feasibility study of the method of wet polishing of polymer parts using a galvanizing machine with a complex spatial movement of the working capacity of the «Turbula» type for the implementation of the technological operation of polishing the surface of polyester buttons was performed analytically. The expected annual economic effect from the implementation of the developed method of wet polishing of polymer parts using a galvanizing machine with a complex spatial movement of the working capacity of the «Turbula» type, which will amount to UAH 14,059.8 per two units of equipment, is calculated. This method of processing can be used to improve the surface quality of any polymer parts with the possibility of achieving the appropriate value of the roughness of their surface. The obtained research results can be used in design bureaus of relevant enterprises for the manufacture of small polymer parts, the surface quality of which is determined by organoleptic method, as well as in design bureaus of machine-building enterprises specializing in the development of galvanizing equipment.

Key words: polishing, polymer parts, galvanizing machine, working capacity.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Збільшення продуктивності при виготовленні дрібних полімерних виробів та деталей у переважній мірі залежить від скорочення часу, який витрачається на фінішні галтувальні технологічні операції [1]. Наприклад, у легкій промисловості таким способом виготовляють гудзики та застібки. Зокрема, формоутворення таких деталей найчастіше реалізується шляхом вирубки заготовок на спеціальних пресах або шляхом механічної обробки заготовок [2]. Після формоутворення даним заготовкам необхідно надати належного зовнішнього вигляду – поверхня деталей має бути гладкою без наявності нерівностей чи заусенцій, мають бути відсутні сліди від проходу різального інструменту тощо. Тобто, такі деталі потребують покращення якості їх поверхні. Оскільки якість поверхні таких деталей визначається виключно органолептичним методом, то реалізується це шляхом виконання трудомістких фінішних галтувальних технологічних операцій – шліфуванням чи поліруванням їх поверхні [3]. У переважній більшості, такі галтувальні технологічні операції виконуються із застосуванням галтувальних барабанів із обертальним рухом робочих ємкостей [4] чи вібраційних машин [5]. Відомо [6], що такі типи галтувального обладнання, які застосовуються для вищезгаданих технологічних операцій, мають низьку продуктивність, що призводить до значного підвищення цін на кінцевий продукт.

Підвищення продуктивності фінішних галтувальних технологічних операцій можна досягнути за рахунок використання сучасного обладнання, зокрема, обладнання зі складним рухом робочих ємкостей. Перспективним типом такого обладнання вважаються машини типу «Turbula» [7], у яких робоча ємкість виконує складний просторовий рух – одночасно переміщається у трьох взаємноперпендикулярних площинах та виконує обертання навколо власної осі. Таким чином, можна досягнути інтенсифікації руху робочого масиву (деталі та абразивний масив) в середині ємкості.

Авторами був розроблений цілий ряд таких галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей [8 – 10] з різними конструктивними та технологічними особливостями. Однак, на сьогоднішній день, відсутнє порівняльне техніко-економічне обґрунтування використання розробленого галтувального обладнання типу «Turbula» при виконанні технологічної операції полірування поверхні дрібних полімерних виробів.

Аналіз досліджень та публікацій

Відомі роботи [8 – 10], у яких проведені дослідження просторових механізмів галтувальних машини типу «Turbula». У роботах [8 – 10] розроблено конструкції машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей без наявності пасивних зв'язків у кінематичних ланцюгах просторових механізмів. Проведена ціла низка досліджень [11, 12], які показали успішність використання машини типу «Turbula» для реалізації технологічних процесів змішування сипких дрібнодисперсних речовин. Так, у роботі [12] було доведено, що всього лиш за 10 обертів ведучого валу машини індекс сегрегації при змішуванні відповідав випадковому розподілу окремих частинок двох фракцій сипкого середовища між собою. Відомі експериментальні дослідження [13, 14], де машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей успішно використовуються для реалізації процесів відділення металевих деталей від ливників. В результаті цих досліджень було встановлено, що із використанням машин типу «Turbula», час технологічної операції можна скоротити в десять разів і більше. Експериментальні дослідження [15] показали, що для обробки гудзиків в машині зі складним рухом робочої ємкості потрібно у півтора рази менше часу ніж при аналогічній обробці у машині з обертним барабаном.

Виділення невирішених частин

Незважаючи на проведені дослідження щодо доцільності використання машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» для реалізації фінішних галтувальних технологічних операцій, залишається відкритим питання щодо раціональності та економічної доцільності застосування такої машини при виконанні технологічної операції покращення якості поверхні полімерних деталей та виробів (шліфування та полірування).

Формулювання цілей

Суть даної роботи полягає у техніко-економічному обґрунтуванні використання галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» для реалізації технологічних операцій покращення якості поверхні полімерних деталей та виробів (шліфування та полірування).

Виклад основного матеріалу

Дослідження виконувалися із використанням двох типів поліефірних гудзиків (діаметром 28 мм та 16 мм), формоутворення яких відбувається шляхом механічної обробки. При реалізації полірування поверхні полімерних гудзиків абразивом у вигляді вільних гранул в середині рухомих ємкостей порівнювали два типи галтувального обладнання: звичайний восьмигранний обертний барабан, що використовується на підприємстві ТОВ «Polyplast» (м. Львів) для реалізації вищезгаданих технологічних операцій та розроблений спосіб вологого полірування полімерних деталей [16] із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» [8 – 10].

Розглянемо «базовий» технологічний процес полірування із застосуванням обертного барабану: на ТОВ «Polyplast» для реалізації даної технологічної операції використовується восьмигранний обертний барабан «WPS 330» італійської фірми «Tullio Giusi» з корисним об'ємом 330 л (0,33 м³).

Згідно затвердженого на ТОВ «Polyplast» технологічного регламенту «Виробництва поліефірних листів, заготовок та гудзиків», базовий процес полірування виконується наступним чином. Зокрема, для галтування гудзиків необхідно ввести в барабан наступні складники:

Спеціально підготовлений керамічний абразивний матеріал (трикутні призми із довжиною усіх граней 5 мм) у кількості приблизно 130 – 140 кг.

Пемза середньої або дрібної зернистості в кількості приблизно 2 кг. Кількість збільшується (до 3 – 4 кг) у випадку, коли обточка гудзиків не ідеальна.

Вода без особливих характеристик в кількості приблизно 40 – 55 літрів.

Гудзики, які необхідно піддати галтуванню. Найкращі результати одержується із завантаженням 30 кг гудзиків.

При цьому, враховуючи вагу компонентів, співвідношення між абразивним матеріалом (керамічні призми, пемза) та гудзиками повинно становити 2,5:1 (тобто 2,5 вимірних об'єми абразиву та 1 вимірний об'єм гудзиків), а максимальний рівень води не повинен перевищувати об'єм гудзиків та кераміки.

Заповнення барабану повинно бути в межах від 30 до 40% від загального об'єму. Обробка гудзиків має відбуватися при швидкості обертання барабану приблизно в 30 об/хв упродовж 36 годин безперервної роботи машини.

Таким чином, загальний час $t_{\text{заг1}}$ виконання «базової» технологічної операції полірування буде складати:

$$t_{\text{заг1}} = 2160 \text{ хв.} \quad (1)$$

У свою чергу, авторами було розроблено спосіб вологого полірування полімерних деталей [16] із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» [8 – 10]. Згідно розробленого способу вологого полірування полімерних деталей (рис. 1) у робочу ємкість 1, яка виконує складний просторовий рух, переміщаючись одночасно в трьох взаємоперпендикулярних площинах та обертаючись навколо власної осі 2, завантажуються в необхідних співвідношеннях необроблені деталі 3, дрібнодисперсна пемза 4 та абразивні керамічні тіла 5 складної геометричної форми (рис. 1). Після 3 – 6 годин процесу полірування пемза 4 повністю виключається з технологічного процесу. По завершенню процесу полірування, деталі 3 промиваються у мильному розчині.

Під час технологічного процесу в робочій ємкості 1, яка виконує складний просторовий рух та одночасно обертається навколо власної осі 2, деталі 3 отримують всі ступені свободи, займають різне положення в середині робочої ємкості 1, піддаються впливу різного роду сил, стикаються між собою, абразивним матеріалом 5 та стінками ємкості 1 під різним кутом. Багаточисленні зіткнення оброблюваних деталей 3 та абразивних керамічних тіл 5 складної геометричної форми відбуваються одночасно з усіх боків, саме тому вся поверхня деталей 3 обробляється практично рівномірно.

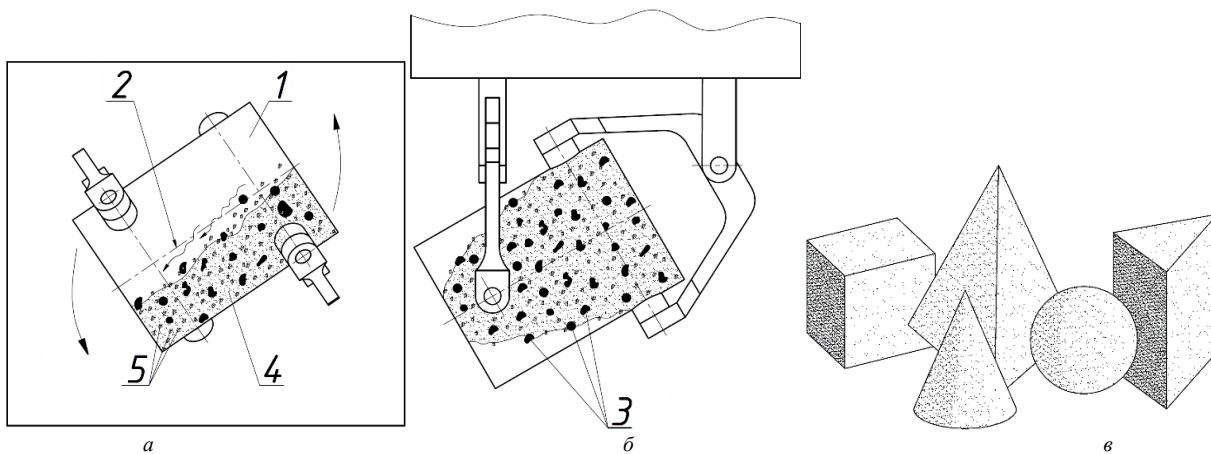


Рис. 1. Спосіб вологого полірування полімерних деталей: а – галтувальна машина (вид спереду), б – галтувальна машина (вид зверху), в – абразивні керамічні тіла

Також доцільно, щоб промивання полімерних деталей здійснювалося водою після перших 3 – 6 годин, після чого продовжують промивання відполірованих полімерних деталей у мильному розчині. Промивання відполірованих деталей у мильному розчині необхідне для повного їх очищення від дрібнодисперсного пилю, що утворюється в процесі обробки. Застосування пемзи в технологічному процесі дає можливість значно зменшити найбільшу величину мікронерівностей профілю поверхні, обробити важкодоступні місця деталей такі як проточки, галтели, отвори, різного роду заглиблення, що практично не контактують з абразивними керамічними тілами складної геометричної форми.

Основний етап полірування поверхні деталей абразивними керамічними тілами складної геометричної форми слід проводити при забезпеченні каскадного або змішаного каскадно-водоспадного режимів руху сипкого робочого середовища, щоб збільшити час контакту між поверхнею оброблюваної деталі та абразивним матеріалом, а також, щоб унеможливити виникнення явища удару при зіткненні деталей зі стінками робочої ємкості. Сумарний час обробки деталей залежить від необхідної величини шорсткості поверхні деталей, ступеня заповнення робочої ємкості, її об'єму, а також від об'ємного співвідношення абразивного матеріалу та оброблюваних деталей, однак в середньому становить 15 годин безперервної роботи машини. Фото зразків поліефірних гудзиків, які пройшли відповідний час обробки у машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості представлено на рис. 2. Зі збільшенням об'єму практично прямопропорційно зменшується час обробки, в зв'язку з тим, що оброблювані деталі за один цикл переміщення будуть долати більший шлях тертя. Рекомендований ступінь заповнення робочої ємкості повинен становити 50% від її загального об'єму. Співвідношення абразивного матеріалу та оброблюваних деталей повинно бути не менш, ніж 2:1 відповідно.

Розмір та геометрична форма абразивних керамічних тіл залежить від форми та розміру оброблюваних деталей та їх фізико-механічних властивостей. Рекомендовано, щоб розмір абразивних керамічних тіл був в 2 рази менший від розміру мінімального оброблюваного отвору деталі, котрий, в свою чергу, більший за 8 мм. Якщо отвори у виробі не передбачені, то розмір абразивних керамічних тіл повинен бути в 5 – 10 разів менший за максимальний габаритний параметр оброблюваної деталі.

Таким чином, загальний час на виконання даної технологічної операції $t_{заг2}$, із використанням розроблено способ вологого полірування полімерних деталей, в середньому, буде складати:

$$t_{заг2} = 900 \text{ хв.} \quad (2)$$

Далі виконували порівняльний розрахунок очікуваного річного економічного ефекту при можливому впровадженні розробленого способ вологого полірування полімерних деталей на ТОВ «Polyplast» для реалізації гальтувальних технологічних операцій полірування поверхні полімерних гудзиків. Вихідні дані для розрахунку представлені у таблиці 1.



Рис. 2. Фото зразків поліефірних гудзиків, які пройшли відповідний час обробки у машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості

Таблиця 1

Параметр	Базовий варіант	Розроблена конструкція
Об'єм ємкості, м ³	0,33	0,32
Кількість робочих ємкостей на одній машині, шт.	1	1
Маса завантажених в одну машину заготовок, кг	30	35
Час обробки однієї партії деталей, хв	2'160	900
Річний годинний фонд при однозмінній роботі, год	1'926	688
Маса оброблюваних в рік деталей на одній машині, кг	1'605	1'605
Потрібна кількість обладнання, шт.	2	2
Вартість одиниці обладнання, грн	300'000	300'000
Потужність встановлених електродвигунів, кВт	4,8	4,8

Розраховували річний годинний фонд Γ_1 для базового процесу. Враховуючи, що підприємство ТОВ «Polyplast» працює при однозмінному режимі роботи ($K_{см}=1$), на технологічний процес гальтування витрачається, в середньому, 2160 хв часу, а в обертовий барабан «WPS 330» завантажуються 30 кг сировини.

$$\Gamma_1 = F_n \cdot K_{п.о.} \cdot K_{см} = 2027 \cdot 0,95 \cdot 1 = 1926 \text{ год}, \quad (3)$$

де F_n – номінальний фонд часу роботи обладнання; $K_{п.о.}$ – коефіцієнт, що враховує втрати робочого часу на плановий ремонт обладнання.

$$F_n = F_k - F_p - F_{п.н.} = 365 - 111 = 254 \text{ доби}; \quad (4)$$

$$F_n = F_{п.н.} \cdot t_{см} + F_{п.н.} \cdot t_{п.р.см} = 249 \cdot 8 + 5 \cdot 7 = 2027 \text{ год}, \quad (5)$$

де F_k , F_p , $F_{п.н.}$, $F_{п.н.}$ – відповідно, кількість календарних, вихідних та святкових, передсвяткових і повних днів ($F_k=365$; $F_p=111$; $F_{п.н.}=5$; $F_{п.н.}=249$); $t_{см}$ та $t_{п.р.см}$ – тривалість повної та передсвяткової робочої змін.

Далі розраховували річний годинний фонд Γ_2 із використанням розробленого способ вологого полірування полімерних деталей при застосуванні гальтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості при однозмінній роботі. Після впровадження розробленого способу на обробку деталей буде витрачатися, в середньому, 900 хв технологічного часу (в 2,4 разів менше ніж у базовому варіанті). Окрім цього, потрібно враховувати, що за один цикл роботи машини зі складним рухом робочої ємкості можна обробити на 5 кг більше деталей. Річний годинний фонд можна розрахувати наступним чином:

$$\Gamma_2 = \frac{\Gamma_1}{(t_{заг1} / t_{заг2}) \cdot (m_2 / m_1)} = 688 \text{ год}, \quad (6)$$

де m_1 – маса завантажених в заготовок в одну розроблену конструкцію машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, m_2 – маса завантажених в заготовок в одну

Маса оброблюваних у рік деталей $m_{заг1(2)}$ на одній машині, для обох випадків буде однаковою, та визначається за виразом:

$$m_{заг2} = m_{заг1} = \left(\frac{\Gamma_{1(2)} \cdot 60}{t_{заг1(2)}} \right) \cdot m_{1(2)} = 1605 \text{ кг}. \quad (7)$$

Також проводили розрахунок собівартості продукції по статтях витрат, що змінюються.

Амортизаційні відрахування (15% від капітальних витрат) для базового варіанту та варіанту із застосуванням розробленого способ вологого полірування полімерних деталей:

$$A1 = A2 = 300'000 \cdot 0,15 = 45'000 \text{ грн} \quad (8)$$

Витрата на ремонт і обслуговування устаткування для обох випадків (15% від капітальних витрат):

$$P1 = 45'000 \text{ грн.} \quad (9)$$

Витрати на електроенергію для базового варіанту:

$$E1 = M \cdot K_c \cdot \Gamma_1 \cdot \Pi = 4,8 \cdot 0,7 \cdot 1926 \cdot 1,69 = 10'936,6 \text{ грн}, \quad (10)$$

де M – сумарна потужність електродвигунів, $K_c=0,7$ – коефіцієнт попиту, $\Gamma_1=1926$ – річний годинний фонд (базовий варіант), $\Pi=1,68$ грн – ціна 1 кВт*год електроенергії (станом на 01.02.2021 року).

Собівартість продукції для базового варіанту:

$$C1 = A1 + P1 + E1 = 45'000 + 45'000 + 10'936,6 = 100'936,6 \text{ грн} \quad (11)$$

Із використанням розробленого способу вологого полірування полімерних деталей, витрати на електроенергію при експлуатації становитимуть:

$$E2 = M \cdot K_c \cdot \Gamma_2 \cdot \Pi = 3,0 \cdot 0,7 \cdot 535 \cdot 1,69 = 3906,7 \text{ грн}, \quad (12)$$

де Γ_2 – річний годинний фонд (після впровадження машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості).

Собівартість продукції після впровадження:

$$C2 = A2 + P2 + E2 = 45'000 + 45'000 + 3906,4 = 93'906,7 \text{ грн} \quad (13)$$

У результаті, розраховували річний економічний ефект з урахуванням того, кількість обладнання, яка використовується на виробництві становить 2 одиниці:

$$Ep = 2 \cdot ((C1 + E \cdot K1) - (C2 + E \cdot K2)), \quad (14)$$

де $C1, C2$ – собівартість продукції по змінних статтях витрат до впровадження і після впровадження, відповідно; $K1, K2$ – капітальні витрати до впровадження і після впровадження, відповідно; $E=0,15$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності.

$$Ep = 2 \cdot ((100'936,6 + 0,15 \cdot 300'000) - (93'906,7 + 0,15 \cdot 300'000)) = 14'059,8 \text{ грн}$$

У результаті, очікуваний річний економічний ефект від впровадження розробленого способу вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» складе 14'059,8 грн на дві одиниці обладнання.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. Розроблено спосіб вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula», що дозволяє значно інтенсифікувати виконання технологічного процесу.

2. Аналітичним шляхом виконано техніко-економічне обґрунтування застосування способу вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula» для реалізації технологічної операції полірування поверхні поліефірних гудзиків.

3. Розраховано очікуваний річний економічний ефект від впровадження розробленого способу вологого полірування полімерних деталей із використанням галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula», що складе 14'059,8 грн на дві одиниці обладнання.

Література

1. Залюбовський М.Г. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей: монографія / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев – К.: Університет «Україна», 2018. – 228 с.
2. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості: монографія / О.П. Бурмістенков, Б.М. Злотенко, В.П. Коновал, І.В. Панасюк, М.С. Скиба, О.М. Синюк. – Хмельниц., 2007. – 255 с.
3. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Kuznetsova O.O., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 3 (134). – P. 9 – 17.
4. Шварц А.И. Механизация и автоматизация производства формовых РТИ: Учебное пособие для рабочего образования. М.: Химия, 1987. – 176 с.
5. Шумакова Т. А. Инструмент для виброабразивной обработки деталей: монография / Т. А. Шумакова, В. И. Шаповалов, Ю. И. Гутько; Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. – Луганск: Ноулидж, 2011. – 59 с.
6. Залюбовський М.Г. Перспективні технології обробки деталей і змішування сипких речовин у рухомих робочих ємкостях (частина 2: типи обладнання з рухомими ємкостями) / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки – 2020. – № 3, том 31 (70). – С. 7-13.
7. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. – 2021 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (дата відвідування: 25.12.2021).
8. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasyuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho

Universytetu, – 2020. – 178, issue 4, 69-75.

9. Zalyubovskii M. G. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // *International Applied Mechanics*, 56, No. 6, November 2020, 762 – 772.

10. Zalyubovskiy M. G. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, S.O. Koshel', G.V. Koshel' // *International Applied Mechanics*, 57, No. 4, July 2021, 466 – 476.

11. Marigo M. Discrete Element Method (DEM) for Industrial Applications: Comments on Calibration and Validation for the Modelling of Cylindrical Pellets / M. Marigo, EH Stitt // *KONA Powder and Particle Journal* – 2015. – No 32, P. 236-252.

12. Marigo M. Discrete element modelling (DEM) input parameters: understanding their impact on model predictions using statistical analysis / Z. Yan, SK. Wilkinson, EH. Stitt, M. Marigo // *Computational Particle Mechanics* – 2014. – No 2. (Vol. 3), P. 283-299.

13. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу режимів руху робочого масиву та об'єму заповнення ємкості на інтенсивність відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну* – 2020. – №1 (142). – С. 27-38.

14. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу геометрії металевих відливок деталей замка «блискавка» на особливості їх обробки в гальтувальній машині / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну* – 2020. – №2 (144). – С. 24-32.

15. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design* – 2019. – Vol. 2 (132). – P. 24 – 32.

16. Патент №113266, МПК В24В 31/10 (2006.01). Спосіб вологого полірування полімерних деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201606525; заяв. 15.06.2016, опуб. 25.01.2017, бюл. № 2.

References

1. Zaliubovskiy M. H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei: monografiia / M. H. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, V. V. Malyshev – K.: Universytet «Ukraina», 2018. – 228 s.

2. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttievi ta shkirhalanterinii promyslovosti: monografiia / O.P. Burmistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ie. Skyba, O.M. Syniuk. – Khmelnyts., 2007. – 255 s.

3. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Kuznetsova O.O, Malyshev V.V. // *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design* – 2019. – Vol. 3 (134). – P. 9 – 17.

4. Shvarts A.I. Mehanizatsiya i avtomatizatsiya proizvodstva formovykh RTI: Uchebnoe posobie dlya rabocheho obrazovaniya. M.: Himiya, 1987. – 176 s.

5. Shumakova T. A. Instrument dlya vibroobrazivnoy obrabotki detaley: monografiya / T. A. Shumakova, V. I. Shapovalov, Yu. I. Gutko; Vostochnoukr. nats. un-t im. V. Dala. - Lugansk: Noulidzh, 2011. – 59 c.

6. Zaliubovskiy M.H. Perspektivni tekhnologii obrobky detalei i zmishuvannia sypkykh rehovyn u rukhomykh robochykh yemkostiakh (chastyna 2: typy obladnannia z rukhomymy yemkostiamy) / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky* – 2020. – № 3, tom 31 (70). – S. 7-13.

7. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. – 2021 [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (data vidviduvannia: 25.12.2021).

8. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, – 2020. – 178, issue 4, 69-75.

9. Zalyubovskii M. G. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // *International Applied Mechanics*, 56, issue 6, November 2020, 762 – 772.

10. Zalyubovskiy M. G. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, S.O. Koshel', G.V. Koshel' // *International Applied Mechanics*, 57, No. 4, July 2021, 466 – 476.

11. Marigo M. [Discrete Element Method \(DEM\) for Industrial Applications: Comments on Calibration and Validation for the Modelling of Cylindrical Pellets](#) / M. Marigo, EH Stitt // *KONA Powder and Particle Journal* – 2015. – No 32, P. 236-252.

12. Marigo M. [Discrete element modelling \(DEM\) input parameters: understanding their impact on model predictions using statistical analysis](#) / Z. Yan, SK. Wilkinson, EH. Stitt, M. Marigo // *Computational Particle Mechanics* – 2014. – No 2. (Vol. 3), P. 283-299.

13. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu rezhymiv rukhu robochoho masivu ta ob'emu zapovnennia yemkosti na intensyvniat viddilennia metalovykh detalei vid lyvnykiv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu* – 2020. – №1 (142). – S. 27-38.

14. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu heometrii metalovykh vidlyvok detalei zamka «blyskavka» na osoblyvosti yikh obrobky v haltuvalni mashyni / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu* – 2020. – №2 (144). – S. 24-32.

15. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design* – 2019. – Vol. 2. – P. 24 – 32.

16. Patent №113266, МПК В24В 31/10 (2006.01). Спосіб вологого полірування полімерних деталей / Zaliubovskiy M.H., Panasiuk I.V., zaiavnyk ta patentovlasnyk Kyivskiy natsionalnyi univers. tekhnologii ta dizainu – №u201606525; zaiav. 15.06.2016, opub. 25.01.2017, biul. № 2.

Рецензія/Peer review : 21.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

КИРИЦЯ І. Ю.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8280-5552>e-mail: kyrytsya@vntu.edu.ua

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВИКОРИСТАНОГО РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ ПРИ ХОЛОДНОМУ ФОРМУВАННІ ВИРОБІВ ТИПУ СТАКАН

В роботі уточнено методику розрахунку використаного ресурсу пластичності заготовок типу «Стакан» в процесах зворотного холодного пластичного формозмінення.

При розрахунку використаного ресурсу пластичності враховано вплив об'ємності схеми напруженого стану шляхом використання поверхні граничних деформацій замість діаграм пластичності.

Застосування гідростатичного підпору при зворотному видавлюванні дозволило не тільки зменшити ступінь використаного ресурсу пластичності, а також отримати більш рівномірний його розподіл, отже підвищити якість отримуваних заготовок при зворотному видавлюванні і покращити технологічну спадковість готових виробів.

Отримані в роботі результати можуть бути використані для оцінки граничного формозмінення в подібних технологічних процесах, що супроводжуються об'ємною схемою напруженого стану.

Ключові слова: використаний ресурс пластичності, граничне формозмінення, зворотне видавлювання, холодне пластичне деформування.

Inna KYRYTSYA

Vinnytsia national technical University

FEATURES OF THE CALCULATION OF THE USED PLASTICITY RESOURCE DURING COLD FORMING OF GLASS-TYPE PRODUCTS

The reverse extrusion process is widely used in the production of "Glass" type parts. Due to high technical and economic indicators and great technological possibilities, in recent years, cold plastic deformation has become widely used in machine- and instrument-building plants, in the electrical and radio engineering industry, as well as in other branches of the national economy. However, the possibility of cold plastic deformation by the extrusion method is not yet sufficiently used. The reason is that, traditionally, during the design of metal pressure processing processes, attention is paid to determining the power parameters and ensuring the geometric accuracy of the workpieces. But this does not allow us to assess the ultimate shape change and technological heredity of the finished products and make a quantitative assessment of the damage of the deformed metal.

In this work, the process of forming products of the "Glass" type by reverse cold plastic deformation is investigated, in which the used plasticity resource is taken as the most important parameter responsible for the quality of the products.

The method of calculation of the used resource of plasticity of "Glass" blanks in the processes of reverse cold plastic forming is clarified.

When calculating the used plasticity resource, the effect of the volume of the stress state scheme is taken into account by using the limit deformation surface instead of the plasticity diagrams.

The graphs of distribution of the resource of plasticity by the radius of the workpiece are obtained. From the analysis of the results it follows that the greatest intensity of accumulation of damage occurs in the areas of maximum irregularity of plastic deformation. Points of contact of the punch with the workpiece turned out to be dangerous.

The use of hydrostatic support in reverse extraction allowed not only to reduce the degree of plasticity used, but also to obtain a more uniform distribution of it, therefore, to improve the quality of the obtained blanks when reverse extrusion and improve the technological heredity of the finished products.

The results obtained in the work can be used to estimate the limit change in shape in similar technological processes, which are accompanied by a volumetric scheme of the stressed state.

Keywords: used plasticity resource, limit deformation, reverse extrusion, cold plastic deformation.

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

Формування виробів типу «Стакан» холодним пластичним деформуванням забезпечує якість готових виробів. Процес зворотного видавлювання широко використовується при виробництві деталей типу «Стакан».

Завдяки високим техніко-економічним показникам і великим технологічним можливостям холодне пластичне деформування в останні роки стало широко застосовуватись на машино- і приладобудівних заводах, в електро- і радіотехнічній промисловості, а також в інших галузях народного господарства.

Однак, можливості холодного пластичного деформування методом видавлювання використовуються ще недостатньо. Причиною є те, що традиційно при проектуванні процесів обробки металів тиском увага приділяється визначенню енергосилових параметрів та забезпеченню геометричної точності заготовок. Але це не дозволяє оцінити граничне формозмінення і технологічну спадковість готових виробів та зробити кількісну оцінку пошкодженості здеформованого металу.

Одна з основних проблем під час реалізації процесу зворотного видавлювання полягає у значній неоднорідності розподілу пластичних деформацій та використаного ресурсу пластичності по об'єму здеформованої заготовки, що значно підвищує ймовірність появи браку, обумовленого зародженням мікротріщин. Для усунення існуючих недоліків пропонується використання гідростатичного підпору в процесах зворотного видавлювання.

Варто відмітити, що при формуванні виробів типу «Стакан» холодним пластичним деформуванням реалізується об'ємний напружений стан.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є уточнення методики розрахунку використаного ресурсу пластичності заготовок типу «Стакан» в процесах зворотного холодного пластичного формозмінення, враховуючи об'ємність схеми напруженого стану.

Виклад основного матеріалу

В даній роботі досліджується процес формування виробів типу «Стакан» (рис. 1) зворотним холодним пластичним деформуванням, в якому найважливішим параметром, що відповідає за якість виробів, прийнято використаний ресурс пластичності.

На якість і технологічну спадковість деталей машин, отриманих методом обробки металів тиском, суттєво впливає рівень та закон розподілу використаного ресурсу пластичності ψ по об'єму здеформованої заготовки.

Для оцінки деформовності заготовок і для технологічного забезпечення якості готових виробів необхідна інформація про історію деформування кожної матеріальної частинки в об'ємі заготовки.

Тому, уточнення методики розрахунку використаного ресурсу пластичності в технологічних процесах, що супроводжуються об'ємною схемою напруженого стану, є актуальним.

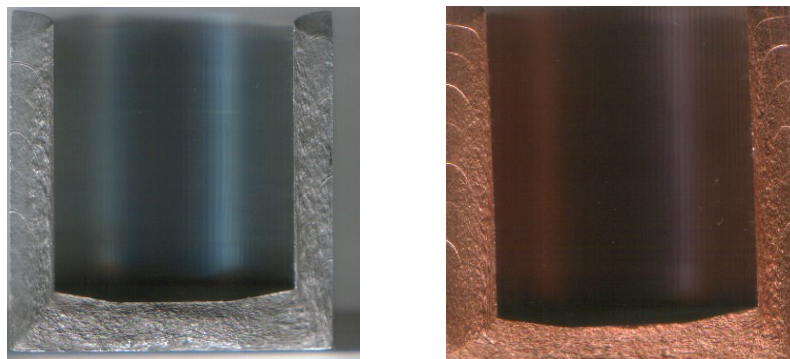


Рис. 1. Фотографії деформованих заготовок з АД0 та М1

За результатами досліджень отриманими в роботах [1-4]: вивчено механіку процесу формування виробів типу «Стакан», як з гідропідпором, так і без; сформовано технологічний паспорт матеріалів (АД0 та М1), з яких виготовляються деталі типу «Стакан»; використовуючи методику запропоновану в роботі [3, 4] розраховано і досліджено напружено-деформований стан в різних областях формуемого виробу з метою оцінки використаного ресурсу пластичності.

В даній роботі використаний ресурс пластичності ψ розраховували за критерієм (1) [5, 6, 7]

$$\psi = \int_0^{e_u} \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}, \quad (1)$$

де $\mu_\sigma = \frac{2S_2 - S_1 - S_3}{S_1 - S_3}$ – параметр Надаї-Лоде;

S_1, S_2, S_3 – компоненти девіатора напружень;

$\eta = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta + \sigma_z}{\sigma_u}$ – показник напруженого стану;

$\sigma_\rho, \sigma_\theta, \sigma_z$ – компоненти тензора напружень;

σ_u – інтенсивність напружень;

e_u – інтенсивність деформацій.

Поверхні граничних деформацій для АД0 та М1 визначали за методикою запропонованою І. О. Сиваком в роботі в роботах [5] та [6].

$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 1,1 \exp(0,42\mu_\sigma - 0,51\eta)$ – поверхня граничних деформацій для АД0 і шляхи деформування частинок матеріалу в небезпечних областях при зворотному видавлюванні циліндричних виробів з глухим отвором (рис. 2).

$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 1,022 \exp(0,38\mu_\sigma - 0,45\eta)$ – поверхня граничних деформацій для М1 і шляхи

деформування частинок матеріалу в небезпечних областях при зворотному видавлюванні циліндричних виробів з глухим отвором (рис. 3).

Використання поверхонь граничних деформацій для оцінки використаного ресурсу пластичності дозволило врахувати об'ємність схеми напруженого стану.

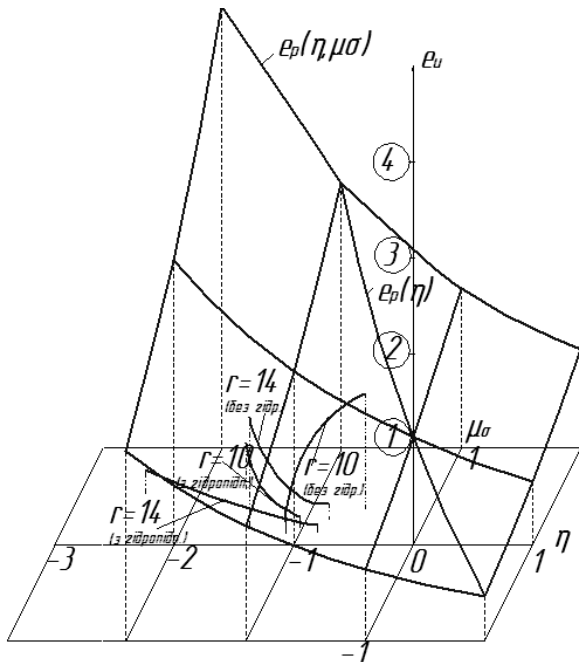


Рис. 2. Поверхня граничних деформацій для АД0 та шляхи деформування частинок матеріалу в небезпечних областях

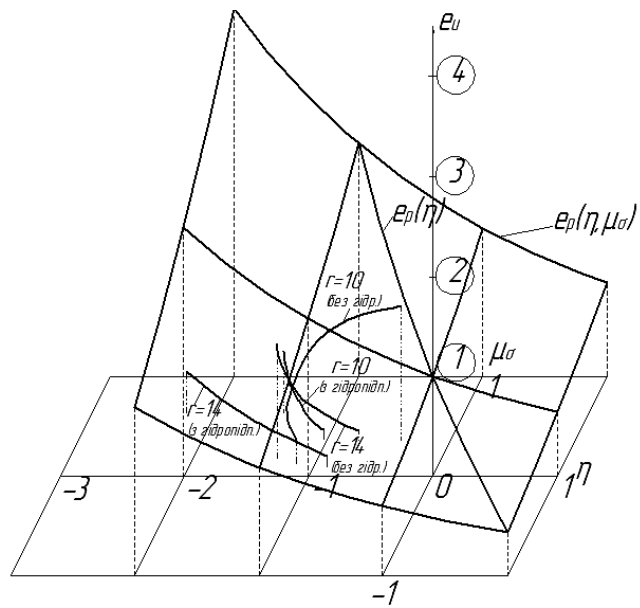


Рис. 3. Поверхня граничних деформацій для М1 та шляхи деформування частинок матеріалу в небезпечних областях

Найбільш небезпечними, з точки зору руйнування, виявились точки, які знаходяться в області максимальних пластичних деформацій $z = 0$ (рис. 4), $r = 10$ і 14 мм.

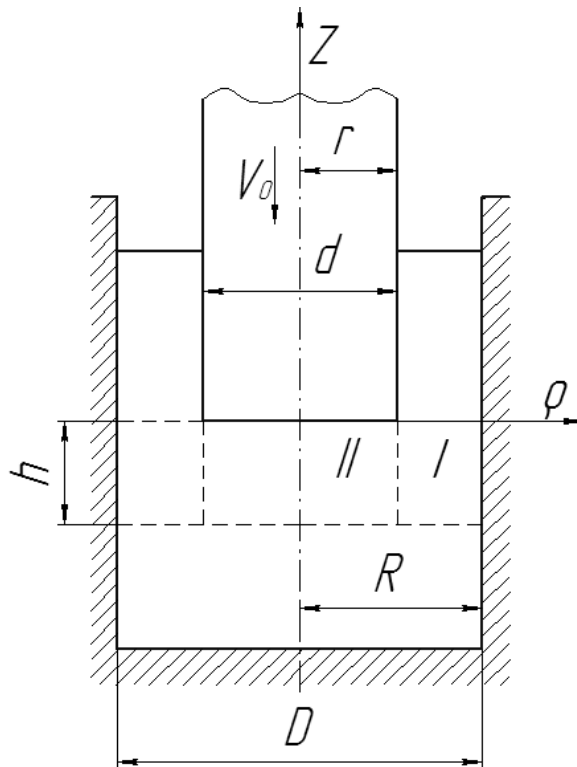


Рис. 4. Розрахункова схема зворотного видавлювання

На рис. 5 та рис. 6 приведені закони зміни інтенсивності деформацій, показників напруженого стану η і μ_σ та використаного ресурсу пластичності ψ (рис. 7, 8) по радіусу заготовки в небезпечній області при $z = 0$.

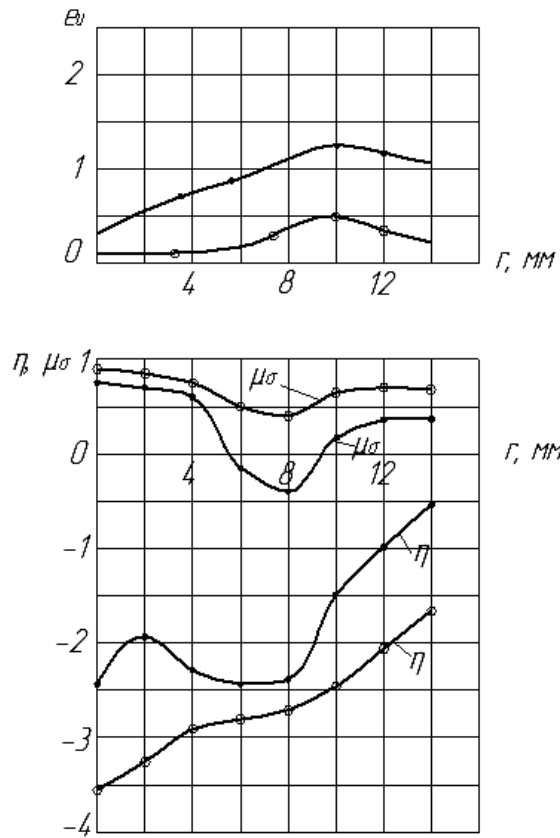


Рис. 5. Зміна інтенсивності деформацій та показників напруженого стану по радіусу заготовки АД0 при $z = 0$
 • – видавлювання без гідропідпору
 о – видавлювання з гідропідпором

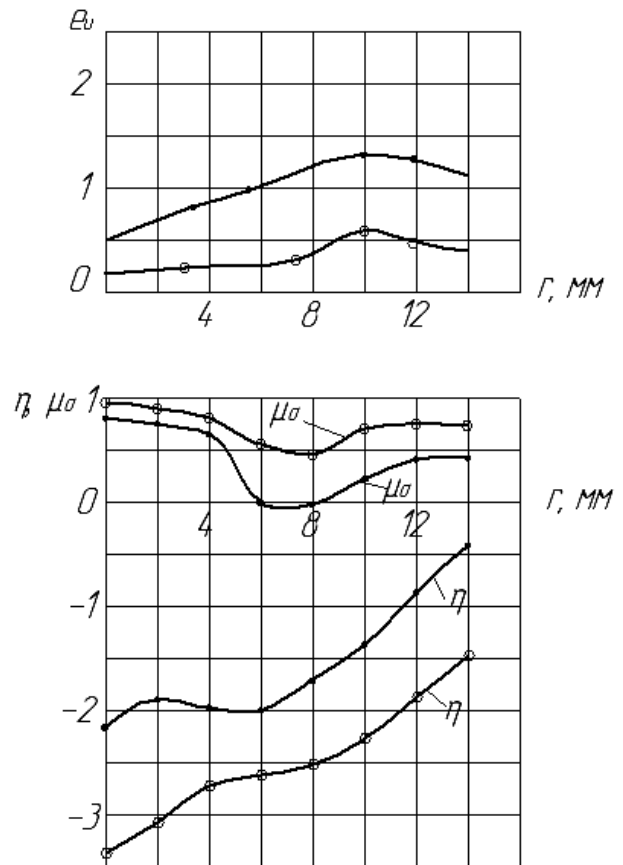


Рис. 6. Зміна інтенсивності деформацій та показників напруженого стану по радіусу заготовки М1 при $z = 0$
 • – видавлювання без гідропідпору
 о – видавлювання з гідропідпором

Із аналізів отриманих результатів випливає, що найбільша інтенсивність накопичення пошкоджень має місце в областях максимальної нерівномірності пластичних деформацій. Використання гідростатичного підпору дозволило не тільки зменшити ступінь використання ресурсу пластичності, а також отримати більш рівномірний його розподіл (рис. 7, 8).

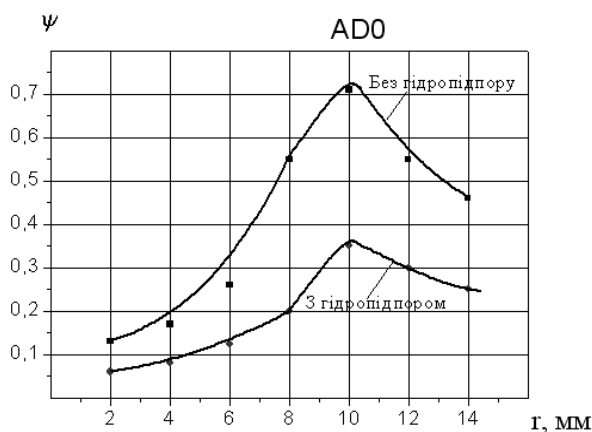


Рис. 7. Зміна використаного ресурсу пластичності по радіусу r заготовки АД0 при $z = 0$

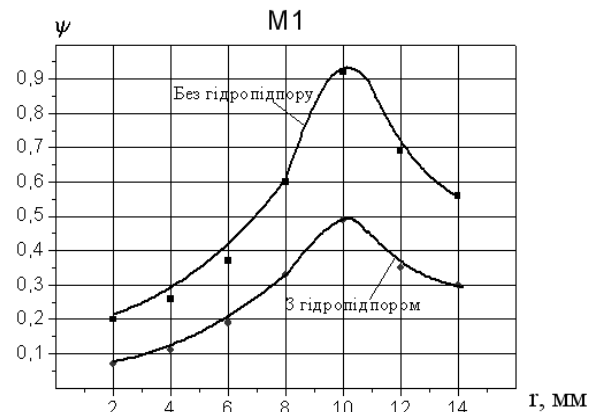


Рис. 8. Зміна використаного ресурсу пластичності по радіусу r заготовки М1 при $z = 0$

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Для більш достовірної оцінки деформуємість металів при об'ємному напруженому стані, який має місце при зворотному видавлюванні, удосконалено методику оцінки деформуємість шляхом використання поверхні граничних деформацій замість діаграм пластичності.

Отримано графіки розподілу ресурсу пластичності по радіусу заготовки. Із аналізу отриманих залежностей випливає, що найбільші значення використаний ресурс має в точках з координатами $\rho = 1, z = 0$. Крім того значення використаного ресурсу пластичності зменшується з ростом відношення

максимального радіуса заготовки до радіуса пуансона. Небезпечними виявилися точки при контакті пуансона із заготовкою. Використання гідростатичного підпору дозволило не тільки зменшити ступінь використання ресурсу пластичності, а також отримати більш рівномірний його розподіл, отже підвищити якість отримуваних заготовок при зворотному видавлюванні і покращити технологічну спадковість готових виробів.

Встановлено, що використання гідростатичного підпору у порівнянні із схемою без гідропідпору, дозволило не тільки зменшити ступінь використаного ресурсу пластичності, а й отримати більш рівномірний його розподіл.

Література

1. Пат. 14662 А Україна, МПК⁷ В 21 J 13/02. Штамп для холодного зворотного видавлювання порожнистих виробів типу стакан / Огородніков В.А., Сивак І.О., Кириця І.Ю. – № 11932; Заявл. 12.12.2005; Опубл. 15.05.2006., Бюл. №5. – 2 с.
2. Огородніков В.А., Кириця І.Ю., Муzychuk В.І. Диаграммы пластичности и особенности их построения // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Краматорськ, 2006. – С. 251–255.
3. Огородніков В. А. Механіка процесів холодного пластичного деформування вісесиметричних заготовок з глухим отвором : [монографія] / В. А. Огородніков, І. Ю. Кириця, В. Є. Перлов. – Вінниця: – ВНТУ, 2015 – 164 с.
4. Сивак І.О. Оцінка zdeformovanosti заготовок в процесах холодного зворотного видавлювання / І. О. Сивак, І. Ю. Кириця, Н. В. Нікітіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 6. – С. 92–96.
5. Сивак І. О. Поверхность предельной пластичности // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії. Краматорськ: ДДМА – 1999. – С. 9–15.
6. Сивак І. О., Коцюбивська К. І. Пластичность металлов при объемном напряженном состоянии // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Краматорськ, 2007. – С. 74–76.
7. Кириця І. Ю. Феноменологічні критерії руйнування // Вісник Хмельницького національного університету. – 2022. – № 3. – С. 75-81.

References

1. Pat. 14662 A Ukraine, MPK⁷ B 21 J 13/02. Shtamp dlia kholodnoho zvorotnoho vydavliuvannia porozhnistykh vyrobiv typu stakan / Ogorodnikov V.A., Syvak I.O., Kyrytsia I.Yu. – № 11932; Zaiavl. 12.12.2005; Opubl. 15.05.2006., Biul. №5. – 2 s.
2. Ogorodnikov V.A., Kirica I.Yu., Muzychuk V.I. Diagrammy plastichnosti i osobennosti ih postroeniya // Udoskonalennya procesiv i obladnannya obrobki tiskom v metalurgiyi i mashinobuduvanni: Zb. nauk. prac. – Kramatorsk, 2006. – S. 251–255.
3. Ogorodnikov V. A. Mekhanika protsesiv kholodnoho plastychnoho deformuvannia visesymetrychnykh zahotovok z hlukhym otvorem : [monohrafiia] / V. A. Ogorodnikov, I. Yu. Kyrytsia, V. Ye. Perlov. – Vinnytsia: – VNTU, 2015 – 164 s.
4. Syvak I.O. Otsinka zdeformovanosti zahotovok v protsesakh kholodnoho zvorotnoho vydavliuvannia / I. O. Syvak, I. Yu. Kyrytsia, N. V. Nikitina // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2007. – № 6. – S. 92–96.
5. Sivak I. O. Poverhnost predelnoi plastichnosti // Udoskonalennya procesiv ta obladnannya obrobki tiskom u mashinobuduvanni ta metalurgiyi. Kramatorsk: DDMA – 1999. – S. 9–15.
6. Sivak I. O., Kocyubivskaya K. I. Plastichnost metallov pri obemnom napryazhennom sostoyanii // Udoskonalennya procesiv i obladnannya obrobki tiskom v metalurgiyi i mashinobuduvanni: Zb. nauk. prac. – Kramatorsk, 2007. – S. 74–76.
7. Kyrytsia I. Yu. Fenomenologichni kryterii ruynuvannia // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2022. – № 3. – S. 75-81.

Рецензія/Peer review : 25.07.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

КОЛЕСНИК Т. О.

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0001-8374-2306>e-mail: domanska91@gmail.com

АНДРЕЄВА О. А.

Київський національний університет технологій та дизайну

e-mail: wayfarer14@ukr.net

ДАВИДЮК Д. А.

Київський національний університет технологій та дизайну

e-mail: gysb356@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗОЛІННЯ-ЗНЕВОЛОШУВАННЯ ШКІРЯНОГО ПЕРГАМЕНТУ ЗА НАЯВНОСТІ ПРИРОДНОГО МІНЕРАЛУ ЦЕОЛІТУ

Досліджено процес зоління-зневолошування шкіряного пергаменту з використання вітчизняного природного мінералу цеоліту. Наведено результати експериментальних досліджень зі змінювання властивостей голини та шкіри за різних умов оброблення (вапняно-сульфідного та безсульфідного способу з використанням гідроксиду кальцію, хлориду кальцію та цеоліту). Висунуто й підтверджено гіпотезу сповільненої дії на шкіряну сировину гідроксиду кальцію в присутності цеоліту як речовини з високою адсорбційною здатністю. Встановлено доцільність безсульфідного вапняного зоління-зневолошування в присутності цеоліту, що дозволяє отримати міцну, наповнену шкіру при зменшеній витраті або навіть при повному виключенні екологічно шкідливих хімічних реагентів.

Ключові слова: шкіряний пергамент, зоління-зневолошування, цеоліт.

Tetiana KOLESNYK, Olga ANDREYEVA, Dmytro DAVYDIUK

Kyiv National University of Technologies and Design

RESEARCH OF THE LIMING-UNHAIRING OF LEATHER PARCHMENT WITH THE PRESENCE OF THE NATURAL MINERAL ZEOLITE

In many methods for the production of natural leather, the process of liming-unhairing is carried out using toxic sodium sulfide, poorly soluble calcium hydroxide, etc., this increases the degree of pollution of wastewater, complicates the work of treatment facilities. To improve the ecological situation, some works suggest replacing the widespread sulfide-lime liming-unhairing with a two-stage pure lime one or by using sodium hydroxide with kaolin together. In the development of this direction, this paper considers the possibility of using another natural mineral, zeolite, known for its high sorption capacity, during liming-unhairing. The paper investigates the hypothesis of a delayed action of calcium hydroxide on raw hides with the addition of zeolite. The hypothesis provides for the following mechanism: the absorbing complex of the zeolite sorbs calcium hydroxide ions, and after a while the reverse process gradually takes place – the zeolite gives Ca^{2+} and OH^- ions back into the solution. This is confirmed by the results of studying the sorption-desorption kinetics of calcium hydroxide by zeolite depending on the concentration of lime and mineral. The influence of liming-unhairing conditions (lime-sulfide and sulfide-free using calcium hydroxide, calcium chloride in the presence of zeolite) on the formation of the structure and properties of the semi-finished leather product (pelt) and finished leather (parchment) is considered. The expediency of sulfide-free lime liming-unhairing in the presence of zeolite has been established, which makes it possible to obtain a strong, filled leather with a reduced consumption (or even complete exclusion) of environmentally harmful chemical reagents.

Keywords: leather parchment, liming-unhairing, zeolite.

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

Одними з найбільш важливих процесів шкіряного виробництва, крім дублення, традиційно вважаються процеси зоління та зневолошування, в результаті яких послаблюється зв'язок волосу з дермою, видаляються міжволоконні білкові речовини (муцини, мукоїди та ін.), великі структурні елементи дерми (колагенові волокна та їх пучки) поділяються на дрібніші (волоконця та фібрили), жирові речовини шкіри частково обмиляються [1].

У багатьох сучасних методиках виробництва натуральної шкіри ці процеси суміщаються і проводяться з використанням таких екологічно шкідливих реагентів як сульфід натрію та гідроксид кальцію, що, на жаль, суттєво підвищує ступінь забруднення стічних вод, ускладнює роботу очисних споруд й негативно позначається на якості голини та готової продукції, викликаючи стяжку, садку поверхні, пухлинуватість та жорсткість [2, 3]. У зв'язку з цим виникає необхідність в удосконаленні існуючих або розробленні нових способів зоління-зневолошування. Найбільш перспективними є ті, що дозволяють не лише виключити або суттєво зменшити використання зазначених вище реагентів, а й забезпечити ефективність оброблення при максимальному зменшенні об'єму та забруднення промислових стоків. Виходячи з викладеного, метою роботи є дослідження процесу зоління-зневолошування з використанням вітчизняного природного мінералу цеоліту для виключення екологічно небезпечного сульфиду натрію, зменшення витрати малорозчинного гідроксиду кальцію без погіршення якості готової продукції. Для здійснення зазначеної мети поставлено завдання дослідити вплив умов оброблення на перебіг технологічного процесу, формування структури та властивості дерми.

Об'єкт дослідження – процес зоління-зневолошування, предмет дослідження – визначення взаємозв'язку між умовами оброблення і властивостями шкіряного напівфабрикату (голини) та готової шкіри.

Для визначення поведінки досліджуваних матеріалів і реагентів у технологічному процесі за наявності вітчизняного природного мінералу цеоліту провели серію пошукових досліджень з використанням овчини мокросоленого методу консервування після відмочування, яке проводилося у воді без використання хімічних реагентів. Групи зразків у кількості трьох штук, підібрані за методом асиметричної бахромки, обробляли в лабораторних умовах у ємності 3 дм³ з вмонтованими полицями для перемішування при обертанні зі швидкістю 18-20 хв⁻¹ на установці кулькового двовалкового млина М-188-01 [4].

Виклад основного матеріалу

З теорії та практики проведення процесу зоління-зневолошування відомо, що для розпушення структури дерми та видалення волосу велике значення має рН системи [5–7]. Виходячи з цього, спочатку проаналізували рН розчинів (суспензій) деяких мінеральних реагентів, які можна б було використати під час безсульфідного зоління-зневолошування: гідроксиду кальцію, хлориду кальцію та цеоліту. З табл. 1 видно, що при використанні гідроксиду кальцію рН системи сильно лужний (на рівні 11,40-11,95); у разі хлориду кальцію або цеоліту цей показник ближчий до нейтрального (в межах 5,60-7,20).

Таблиця 1

Значення рН розчинів (суспензій) досліджуваних мінеральних речовин

Концентрація, г/л	Значення рН		
	CaCl ₂	Ca(OH) ₂	Цеоліт
2,5	–	–	6,00
5,0	6,90	11,40	5,60
10,0	7,10	11,90	5,70
15,0	7,20	11,95	–

Хлорид кальцію є сіллю сильного лугу Ca(OH)₂ та сильної кислоти HCl. При температурі 20 °С розчинність хлориду кальцію становить 74,5 г/100 мл; розчинність гідроксиду кальцію (або гашеного вапна) – 0,165 г/100 мл, тобто розчинність хлориду кальцію у 451,5 рази більша від розчинності його гідроксиду. З урахуванням викладеного та досвіду використання хлориду кальцію для намазного зоління-зневолошування дрібної сировини [8], було вирішено провести зоління-зневолошування пергаменту з використанням цеоліту і цієї солі.

Після відмочування масова частка вологи у шкірі становила 70,2 %, мінеральних речовин – 3,46 % (або 11,61 % у перерахунку на абсолютно суху речовину). Процес зоління-зневолошування здійснювали з використанням хлориду кальцію (концентрація 10,0 г/л) та цеоліту (концентрація 2,5; 5,0; 10,0 г/л); оброблення контрольної групи 1 проводили без природного мінералу (табл. 2).

Таблиця 2

Показники голини (цеоліт + хлорид кальцію)

Група	Концентрація цеоліту, г/л	Мас. частка, %		Органолептична оцінка	
		волога	мінеральні речовини	наявність бубняви	видалення волосу
1	–	72,5	8,3	відсутня	ускладнене
2	2,5	73,4	9,8	відсутня	ускладнене
3	5,0	74,7	10,0	відсутня	ускладнене
4	10,0	70,9	10,3	відсутня	ускладнене

Після зоління-зневолошування голина у всіх групах була без бубняви, волос хоча і знімався, але дуже важко (залишався підсід). Тому у подальшому від використання хлориду кальцію відмовились і залучили до роботи гідроксид кальцію з наміром зменшити його витрату за рахунок цеоліту.

Гідроксид кальцію добре зарекомендував себе при проведенні процесу зоління-зневолошування, оскільки здатний добре розпушувати структуру дерми, створювати лужну бубняву, вилучати міжволоконні білки. Недоліком цього матеріалу є його низька розчинність і те, що з водою він утворює не розчин, а суспензію; це не дозволяє вапну поступово та рівномірно розподілятися в товщі дерми, побудованої з дуже відмінних за структурою сосочкового та сітчастого шарів. Все це обумовлює ризик появи таких небажаних дефектів голини як стяжка та пухлинуватість, а через недостатнє відпрацювання робочого розчину та значну кількість вапняного відвалу (так званого «шламу») після зоління-зневолошування ускладнює роботу очисних споруд, екологічний стан шкіряного підприємства в цілому. Виходячи з викладеного, було поставлене завдання не просто зменшити витрату вапна при золінні-зневолошуванні, а й більш ефективно його використати.

На підставі високої сорбційної здатності цеоліту було зроблено припущення щодо можливості регулювання концентрації гідроксиду кальцію у зольному розчині, тобто його поступової дифузії в дерму та

сповільненої дії на неї. З метою підтвердження цього припущення досліджено систему «гідроксид кальцію-цеоліт» для визначення закономірностей процесу сорбції-десорбції гідроксиду кальцію в залежності від витрати (концентрації) як самого вапна, так і цеоліту.

Експеримент проводили з розчинами гідроксиду кальцію концентрацією 5,0, 10,0 та 15,0 г/л, до яких додавали розчини цеоліту різної концентрації (0,5; 1,5; 2,5; 3,5 та 5,0 г/л). Одержані системи відстоювали не менше 48 год, постійно контролюючи концентрацію вапна: через 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 12,0; 24,0; 30,0; 36,0; 48 год. За результатами спостереження було виявлено поступове зменшення концентрації гідроксиду кальцію протягом перших 6,0 год відстоювання з подальшим її підвищенням у напрямку відновлення початкового рівня (рис. 1). Це можна пояснити тим, що цеоліт спочатку сорбує гідроксид кальцію у вигляді іонів Ca^{2+} та OH^- , а потім, через певний час віддає їх назад у розчин. Максимальне поглинання гідроксиду кальцію відбувається в одному часовому інтервалі (від 6 до 24 год) незалежно від концентрації гідроксиду кальцію або цеоліту. Проте, характер сорбції-десорбції іонів залежить від концентрації обох компонентів системи. Так, у розчинах гідроксиду кальцію концентрацією 5,0 г/л найменший ступінь сорбції-десорбції вапна спостерігається при концентрації цеоліту 1,5 г/л; найбільший ступінь сорбції – у разі концентрації цеоліту 3,5 г/л, а десорбції – 5,0 г/л. У розчинах гідроксиду кальцію концентрацією 10,0 г/л найменший ступінь сорбції-десорбції вапна при концентрації цеоліту 0,5 г/л, найбільший – при 5,0 г/л. У розчинах гідроксиду кальцію концентрацією 15,0 г/л найменший ступінь сорбції-десорбції вапна має місце при концентрації цеоліту 5,0 г/л, найбільший – при 1,5 г/л.

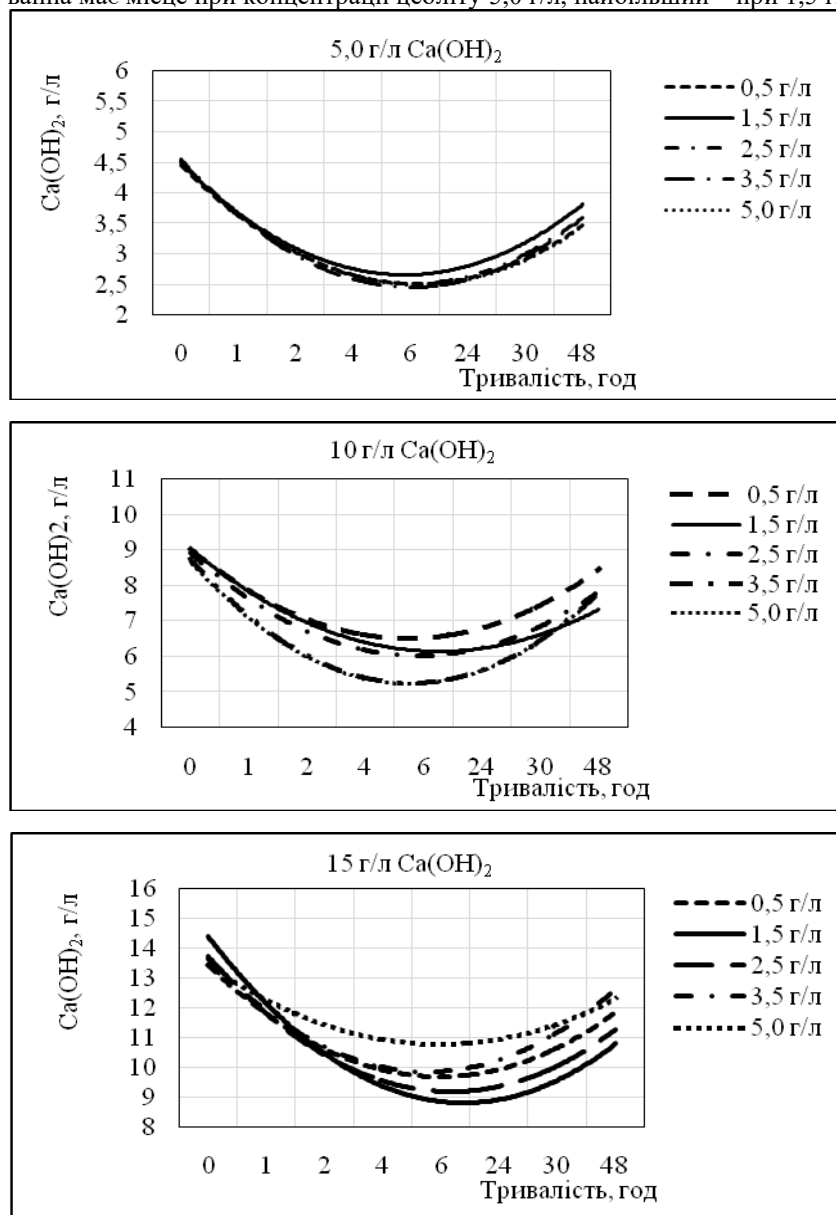


Рис. 1. Кінетика сорбції-десорбції гідроксиду кальцію в залежності від витрати (концентрації) цеоліту

Одержані дані використали у подальшому дослідженні процесу безсульфідного зоління-зневолування, під час проведення якого мінеральну систему «гідроксид кальцію-цеоліт» застосовували після попереднього відстоювання протягом доби. Як і у попередній серії дослідів, процес відмочування виконували однаково для всіх груп – у чистій воді, без використання інших реагентів.

Таблиця 3

Умови процесу зоління (цеоліт + гідроксид кальцію)

Група	Вид та концентрація матеріалів, г/л			Група	Вид та концентрація матеріалів, г/л		
	Ca(OH) ₂	цеоліт	Na ₂ S		Ca(OH) ₂	цеоліт	Na ₂ S
1	10,0	2,5	–	7	30,0	2,5	–
2		5,0	–	8		5,0	–
3		10,0	–	9		10,0	–
4	20,0	2,5	–	10	40,0	2,5	–
5		5,0	–	11		5,0	–
6		10,0	–	12		10,0	–
1к	10,0	–	–	13к	15,0	–	9,0

Варіанти оброблення окремих груп відрізнялись видом та витратою (концентрацією) реагентів під час зоління-зневолошування: так, у дослідних групах застосували вапно у кількості 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 г/л в присутності 2,5; 5,0 та 10 г/л цеоліту; *контрольну групу 1к* обробляли лише одним гідроксидом кальцію при витраті 10,0 г/л; *контрольну групу 13к* – за відомою технологією сульфідно-вапняного зоління-зневолошування з використанням 15,0 г/л гідроксиду кальцію та 9,0 г/л сульфиду натрію. Загальна тривалість оброблення однакова у всіх групах – 18 год.

Після відмочування вміст води у шкурі становив 74,2 %; температура зварювання була на рівні 64,0 °С. Процес зоління-зневолошування проходив без відхилень як у дослідних, так і у контрольних групах.

Проведення безсульфідного зоління-зневолошування з використанням гідроксиду кальцію у кількості 10,0-20,0 г/л за будь-якої витрати цеоліту (*дослідні групи 1-6*) покращує відпрацювання зольного розчину на 3,5-13,0 % абс. порівняно з чистовапняним (*контрольна група 1к*) та на 1,2-10,7 % порівняно з сульфідно-вапняним золінням-зневолошуванням (*контрольна група 13к*). Найкращий результат (СВ = 66,0 %) спостерігається у разі використання 10,0 г/л вапна та 5,0-10,0 г/л цеоліту (*дослідні групи 2 та 3*) (табл. 4).

Таблиця 4

Результати зоління-зневолошування (цеоліт + гідроксид кальцію)

Група	Витрата, г/л		Ca(OH) ₂ у відпрацьованому р-ні		Голина						
					Мас. частка, %		Т _{зв} , °С	Органолептична оцінка			
	Ca(OH) ₂	цеоліт	С, г/л	СВ, %	волога	мінеральні речовини		склоподібний переріз	бубнява	підсід	знімання волосу
1к	10,0	0,0	4,7	53,0	80,5	6,2	57,0	+++	+++	+	++
1	10,0	2,5	4,5	57,0	80,2	8,7	57,0	+++	+++	–	++
2		5,0	3,4	66,0	80,9	8,9	56,5	+++	+++	–	++
3		10,0	3,4	66,0	80,7	9,3	56,0	+++	+++	–	++
4	20,0	2,5	8,4	58,0	81,5	9,7	58,0	+++	++	–	++
5		5,0	8,4	58,0	80,5	10,1	55,0	+++	+++	–	++
6		10,0	8,7	56,5	81,6	9,6	56,0	+++	++	+	+
7	30,0	2,5	14,5	51,7	81,1	9,8	58,0	+++	+++	–	++
8		5,0	15,2	49,3	82,9	10,3	55,0	+++	++	–	+++
9		10,0	16,8	44,0	82,8	11,0	56,0	+++	++	+	+
10	40,0	2,5	17,1	57,3	81,7	12,0	56,0	+++	+++	–	++
11		5,0	18,7	53,3	80,7	13,0	57,0	+++	+++	–	++
12		10,0	19,6	51,0	81,7	15,0	56,5	+++	++	–	+
13к*	15,0	Na ₂ S	6,7	55,3	82,6	10,3	55,0	+++	+++	–	розчин.

Примітка: * концентрація Na₂S у відпрацьованому розчині 3,5 г/л; відпрацювання 61,1 %; ** +++ дуже добре; ++ добре; + погано; – відсутнє; С – концентрація; СВ – ступінь відпрацювання; Т_{зв} – температура зварювання.

Підвищення концентрації гідроксиду кальцію до 30,0-40,0 г/л в цілому негативно позначається на відпрацюванні зольного розчину: порівняно з контрольними групами спостерігається зниження цього показника до 9-11 % абс.

Умови зоління-зневолошування не позначилися суттєво на вмісті води у голині та її температурі зварювання, які знаходилися на рівні 80-83 % та 55-58 °С відповідно. Більш вагомим цей вплив був стосовно вмісту золи у голині, який підвищувався зі збільшенням концентрації мінеральних реагентів на 5,0-20,0 % відн. (табл. 4).

Після зоління-зневолошування шкіряний напівфабрикат (голину) оцінювали органолептично: за наявністю склоподібного перерізу, бубняви, підсиду та легкості видалення волосу з поверхні шкіри. Таким чином було встановлено (табл. 4), що гідроліз кератину мав місце лише у *контрольній групі 13к*, в інших групах волос видаляли механічно (вручну). При цьому волос знімався гірше – треба було прикладати більше зусиль для його видалення – у разі високої (10,0 г/л) концентрації цеоліту для всіх концентрацій гідроксиду кальцію, крім 10,0 г/л.

Проведення фізико-механічних випробувань виготовленого пергаменту виявило покращення показників межі міцності при розтягу та виходу по товщині в дослідних групах порівняно з контрольними на 10,2 та 0,5 % відповідно.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

За результатами даної серії досліджень встановлено можливість проведення безсульфідного зоління-зневолошування шкіряного пергаменту шляхом використання гідроксиду кальцію та природного мінералу цеоліту без погіршення якості голини, але з кращим відпрацюванням робочого розчину при витраті (концентрації) вапна не більше 20,0 г/л. З урахуванням результатів органолептичного оцінювання голини при концентрації вапна 20,0 г/л більш доцільна витрата цеоліту в межах 2,5-5,0 г/л. Це дозволяє отримати міцну, наповнену шкіру при зменшеній витраті (або навіть при повному виключенні) екологічно шкідливих хімічних реагентів.

Література

1. Гайдаров Л. П. Технология кожи. М. : Легкая индустрия, 1974. 174 с.
2. Сакалова Г. В. Розробка екологічно безпечної технології зоління шкіряної сировини : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.19.05 – Технологія шкіри та хутра. Київ : КНУТД, 2001. 147 с.
3. Маллашахбанов Ш. А., Чурсин В. И. Интенсификация подготовительных процессов кожевенного производства с использованием целевых вспомогательных материалов. М. : ЦНИИКП, 2004. С. 36.
4. Головтеева А. А., Куциди Д. А., Санкин Л. Б. Лабораторный практикум по химии и технологии кожи и меха. М. : Легпромбытиздат, 1982. 312 с.
5. Журавський В. А., Касьян Е. Є., Данилкович А. Г. Технологія шкіри та хутра : підручник. Київ : ДАЛПУ, 1996. 744 с
6. Ліщук В. І. Наукові основи відмочувально-зольних процесів у виробництві шкіри : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.18 – Технологія взуття, шкіряних виробів і хутра. Київ : КНУТД, 2011. 40 с.
7. Абдуллин И. Ш., Абуталипова Л. Н., Островская А. В. Химия и технология кожи и меха. Казань : Изд-во КГТУ. 2002. 72 с.
8. Данилкович А. Г. Основні матеріали та технології виробництва шкіри. Київ : КНУТД, 2016. 175 с.

References

1. Gajdarov L. P. Tehnologiya kozhi. M. : Legkaya industriya, 1974. 174 s.
2. Sakalova G. V. Rozrobka ekologichno bezpechnoyi tehnologiyi zolinnya shkiryanoyi sirovini : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk : 05.19.05 – Tehnologiya shkiri ta hutra. Kyiv : KNUTD, 2001. 147 s.
3. Mallashahbanov Sh. A., Chursin V. I. Intensifikaciya podgotovitelyh processov kozhevennogo proizvodstva s ispolzovaniem celevyh vspomogatelnyh materialov. M. : CNIIPK, 2004. 36 s.
4. Golovteeva A. A., Kucidi D. A., Sankin L. B. Laboratornyj praktikum po himii i tehnologii kozhi i meha. M. : Legprombytizdat, 1982. 312 s.
5. Zhuravskiy V. A., Kasian E. Ye., Danylkovich A. H. Tekhnolohiia shkiry ta khutra : pidruchnyk. Kyiv : DALPU, 1996. 744 s
6. Lishchuk V. I. Naukovi osnovy vidmochuvalno-zolnykh protsesiv u vyrobnytstvi shkiry : avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.18.18– Tekhnolohiia vzuttia, shkirianykh vyrobiv i khutra. Kyiv : KNUTD, 2011. 40 s.
7. Abdullin I. Sh., Abutalipova L. N., Ostrovskaya A. V. Himiya i tehnologiya kozhi i meha. Kazan : Izd-vo KGTU. 2002. 72 s.
8. Danylkovich A. H. Osnovni materialy ta tekhnolohii vyrobnytstva shkiry. Kyiv : KNUTD, 2016. 175 s.

Рецензія/Peer review : 14.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

КОСЕНКОВ В. Д.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7463-3028>e-mail: vladimirkosenkov@ukr.net

ІВЛЕВ Д. А.

Національний університет «Одеська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-9938-9321>e-mail: ivlevd@op.edu.ua

ВИНАКОВ О. Ф.

Національний університет «Одеська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-6630-8986>e-mail: afvinakov@gmail.com

САВЬОЛОВА Е. В.

Національний університет «Одеська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-9266-9323>e-mail: savolova.ev@opu.ua

ЯРМОЛОВИЧ В. Я.

Національний університет «Одеська політехніка»

<http://orcid.org/0000-0002-0708-2972>e-mail: yarmolovych@opu.ua

ВИКОРИСТАННЯ Т-ПОДІБНИХ ЗУБЦІВ У ЕЛЕКТРИЧНІЙ МАШИНІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З БЕЗОБМОТКОВИМ РОТОРОМ

Електрична машина постійного струму з безобмотковим ротором (МПСБР) значно відрізняється від класичної машини постійного струму, її магнітна система не має спільного ярма і складається з ряду магнітно-незв'язаних зубців та пазів, відкритих з обох боків. Наявність пазів, у яких відсутнє дно, створює ряд повітряних проміжків, що призводить до зниження магнітної провідності магнітопроводу в поперечному напрямку, а це, у свою чергу, призводить до послаблення поля реакції якоря Ф_я і відмови від додаткових полюсів та компенсаційної обмотки. Отже, величину робочого повітряного проміжку можна зменшити до мінімально можливої величини з технологічної точки зору.

З огляду конструктивних схем МПСБР належить до типу індукторних машин з двома нерухомими обмотками на статорі і зубчастим магнітопроводом ротора, у яких магнітна індукція в робочому повітряному проміжку змінюється тільки за величиною без зміни знака. Тому ротор у МПСБР не перемагнічується і виготовляється зі звичайної конструкційної сталі. Індукторний тип магнітної системи дозволяє мати в МПСБР тільки одну, загальну для всіх полюсів, обмотку збудження та ротор, дуже схожий на ротор багатополюсних синхронних машин з постійними інкорпорованими магнітами. При цьому у МПСБР відсутні постійні магніти, що дозволяє значно знизити вартість електричної машини.

Заміна прямих зубців на Т-подібні дозволяє суттєво підвищити ефективність конструкції МПСБР за рахунок поліпшення її тепловідведення. Представлені у статті результати розрахунків і моделювання стаціонарного теплового поля показують, що застосування Т-подібних зубців дозволяє істотно підвищити перевагу здатність МПСБР або збільшити її потужність.

Ключові слова: теплове поле, машина постійного струму, маса, коефіцієнт корисної дії

Volodymyr KOSENKOV

Khmelnyskyi National University

Dmytro IVLIEV, Oleksandr VYNAKOV, Elvira SAVOLOVA, Viktoria YARMOLOVYCH

Odesa Polytechnic National University

USE OF T-SHAPED TOOTH IN A DIRECT CURRENT MACHINE WITH A WINDLESS ROTOR

The electric direct current machine with a windingless rotor (DCWR) is significantly different from the classic direct current machine; its magnetic system does not have a common yoke and consists of a number of magnetically loose teeth and grooves open on both sides. The presence of grooves in which there is no bottom creates a number of air gaps, which leads to a decrease in the magnetic conductivity of the magnetic conductor in the transverse direction, which, again, leads to a weakening of the reaction field of the Φ_a armature and the rejection of additional poles and compensation winding. Therefore, the size of the working air gap can be reduced to the minimum possible value from a technological point of view.

According to the structural schemes, the DCWR belongs to the type of induction machines with two stationary windings on the stator and a toothed magnetic conductor of the rotor, in which the magnetic induction in the working air gap changes only in magnitude without changing the sign. Therefore, the rotor in the DCWR is not remagnetized and is made of ordinary structural steel. The inductor type of the magnetic system allows having only one, common for all poles, excitation winding in the DCWR, and the rotor is very similar to the rotor of multi-pole synchronous machines with permanent incorporated magnets. At the same time, DCWR does not have permanent magnets, which allows to significantly reduce the cost of an electric machine. Replacing straight teeth with T-shaped ones allows you to significantly increase the efficiency of the DCWR design by improving its heat dissipation. The results of calculations and modeling of the stationary thermal field presented in the article show that the use of T-shaped teeth allows you to significantly increase the overload capacity of the DCWR or increase its power.

Keywords: thermal field, direct-current motor, mass, efficiency

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

Конструкція низькообертової машини постійного струму з безобмотковим ротором і прямими зубцями (МПСБР), маючи ряд переваг, має один істотний недолік, а саме низький рівень тепловідведення. Тому значення електромагнітних навантажень у цій конструкції відносно невеликі, що призводить до збільшення її маси та габаритів.

Поліпшення тепловідведення дозволяє або зменшити витрати активних матеріалів та габарити МПСБР при збереженні заданої потужності, або збільшити потужність при збереженні первинних габаритів.

Вирішення цієї проблеми є актуальним завданням для безредукторних низькообертових електричних машин, що значно поступаються за масою та габаритами високообертовим електричним машинам.

Основні результати

Конструкція МПСБР (рис. 1а, б) не має спільного ярма і складається з ряду магнітно-незв'язаних зубців Ш-подібної форми 1, між якими укладено секції обмотки якоря 2, обмоток збудження 3, безобмоткових полюсів 4 і немагнітних дисків 5 [1, 2].

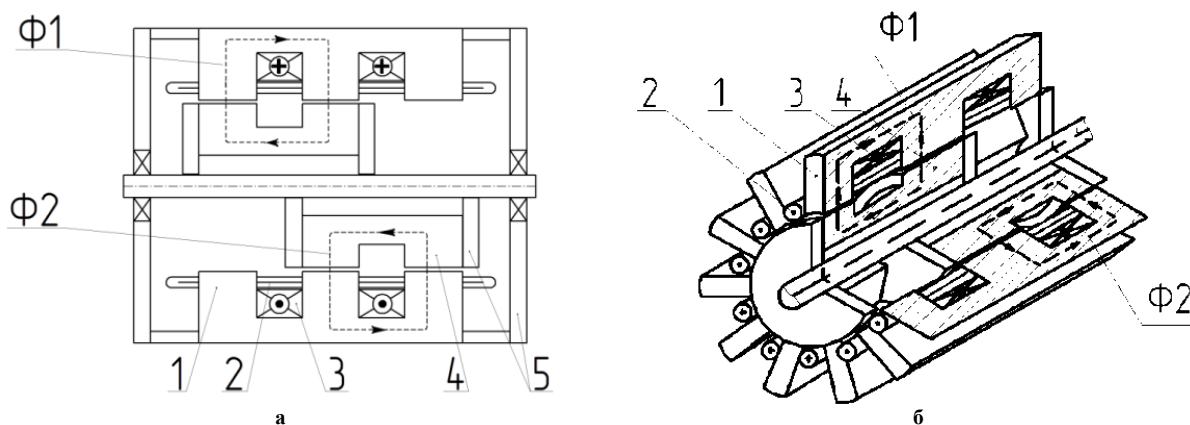


Рис. 1. МПСБР: а – поздовжній розріз; б – аксонометрія

Залежно від ширини зубцевих стрижнів, що зв'язують зубці в поздовжньому напрямку, у МПСБР можливі два варіанти відводу тепла.

1. Магнітна система з вузькими стрижнями 1 (рис. 2,а) і більшими повітряними проміжками 2 між ними, де тепловідвід з поверхні обмоток здійснюється переважно шляхом конвекції [3].

2. Магнітна система із широкими стрижнями 1 (рис. 2,б) і малими повітряними проміжками 2 між ними, де тепловідвід з поверхні обмоток здійснюється переважно шляхом теплопровідності [4–6].

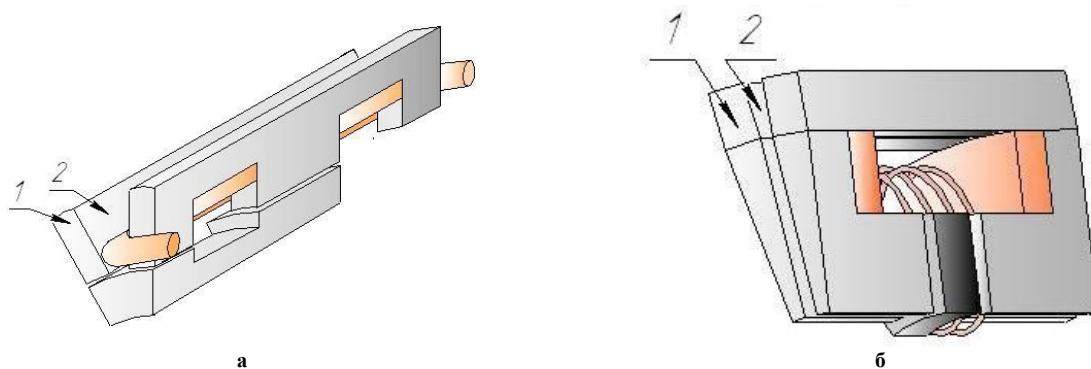


Рис. 2. Поздовжні стрижні в зубцях МПСБР: а – циліндричний; б – торцевий

Обидва варіанти відводу тепла реалізовані в експериментальних конструкціях:

1. МПСБР циліндричного типу з вузькими стрижнями, де 68% зовнішньої поверхні обмотки збудження має безпосередній контакт із навколишнім середовищем.

2. МПСБР торцевого типу з широкими стрижнями, де тільки 28% зовнішньої поверхні обмотки збудження має безпосередній контакт із навколишнім середовищем.

Обидві конструкції пройшли теплові випробування, що дозволило порівняти експериментальні й розрахункові дані, отримані методом кінцевих елементів у програмі ELCUT [7].

Порівняльний розрахунок двох конструкцій МПСБР показав кращий результат для конструкції із широкими стрижнями. Так, розрахункова температура обмотки якоря в циліндричному МПСБР з вузькими стрижнями $T_{оя}=102,8^{\circ}\text{C}$, а у МПСБР з широкими стрижнями $T_{оя}=86^{\circ}\text{C}$ (різниця 17%) при однакових

значеннях об'ємної щільності тепловиділення. Тому більш доцільно робити магнітну систему із широкими поздовжніми стрижнями.

Однак з технологічної точки зору магнітна система з широкими стрижнями поступається системі з вузькими. У магнітній системі з вузькими стрижнями зубцевий пакет прямокутний (рис. 2а) а у системі з широкими стрижнями трапецієподібний (рис. 2б).

Для того, щоб зібрати прямокутний пакет, потрібні листи електротехнічної сталі однієї висоти, а в трапецієподібному пакеті висота листів буде різною. У першому випадку можна повністю автоматизувати процес збирання з мінімальними відходами сталі, у другому це викличе ускладнення технологічного процесу та збільшення відходів різання металу.

Тому був запропонований третій варіант, що поєднує в собі позитивні сторони обох варіантів. Пропонується робити зубець Т-подібним із двох прямокутних зубцевих пакетів різної ширини (рис. 3). У такій магнітній системі буде покращено тепловідведення та технологічність конструкції.

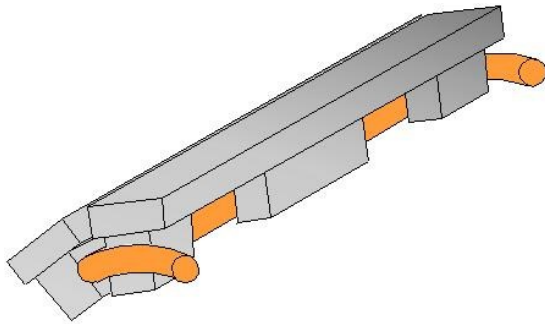


Рис. 3. Т-подібні зубці



Рис. 4. Експериментальний генератор

Для оцінки впливу Т-подібних зубців на тепловідведення в МПСБР було проведено такі варіанти розрахунків:

- **Базовий варіант.** Експериментальний генератор постійного струму з безобмотковим ротором циліндричного типу з вузькими стрижнями $P=1\text{кВт}$, $n=600\text{об/хв}$ (рис. 1а, б), (рис. 4), (рис. 5);
- **Варіант 1.** Проведено розрахунок стаціонарного теплового поля базового варіанту з Т-подібними зубцями, при цьому збережені незмінними геометрія та величини електромагнітних навантажень (рис. 6);
- **Варіант 2.** При збереженні незмінної геометрії базового варіанту збільшено величини електромагнітних навантажень і проведено розрахунок стаціонарного теплового поля (рис. 7);
- **Варіант 3.** Змінено геометрію базового варіанту та його електромагнітні навантаження та проведено розрахунок стаціонарного теплового поля.

Результати розрахунків представлені у таблиці 1, порівняльні дані щодо температур у таблиці 2.

Таблиця 1

Результати розрахунків машин постійного струму з безобмотковим ротором

Показник	Базовий варіант, Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Номінальна потужність P_n , Вт	1093	1781 (+39%)	940
Номінальні оберти n_n , об/мин	600	600	600
Внутрішній діаметр статора D_a , мм	140	140	120 (-14%)
Лінійне струмове навантаження A , А/см	28000	44000 (+36%)	44000
Густина струму обмотки якоря $J_{оя}$, А/мм ²	4,2	6,2 (+32%)	6,2
Густина струму обмотки збудження $J_{оз}$, А/мм ²	3	3	3
Індукція у робочому повітряному проміжку B_δ , Тл	0,49	0,56 (+12%)	0,56
Струм обмотки якоря $I_я$, А	3,72	5,84 (+36%)	3,03
Струм обмотки збудження $I_з$, А	0,6	0,69 (+13%)	0,5 (-17%)
Втрати обмотки якоря $P_{оя}$, Вт	417	968 (+57%)	830 (+50%)
Втрати обмотки збудження $P_{оз}$, Вт	104	138	72 (-31%)
Втрати в сталі $P_{ст}$, Вт	66	83 (+21%)	44 (-34%)
Поверхневі втрати $P_{пов}$, Вт	3,2	4,2	2
Механічні втрати P_m , Вт	115	115	115
Додаткові втрати $P_{дод}$, Вт	11	18	9
Загальні втрати $P_{заг}$, Вт	716	1326	1072
Підведена потужність P_1 , Вт	1809	3107	2012
Коефіцієнт корисної дії η , %	60	57 (-5%)	47% (22%)
Маса M , кг	55	55	41 (-26%)

Таблиця 2

Порівняльні дані температури

Показник	Базовий варіант	Варіант 1	Варіант 2
Об'ємна щільність тепловиділення			
обмотка збудження $Q_{оз}$, Вт/м ³	19806	19806	22380
обмотка якоря $Q_{оя}$, Вт/м ³	291294	291294	582588
Абсолютна температура			
обмотка збудження $T_{оз}$, °C	100,5	56,4 (-44%)	76,8 (-24%)
обмотка якоря $T_{оя}$, °C	102,8	67,3 (-35%)	108,7 (+6%)
Рисунок	Рис. 5	Рис. 6	Рис. 7

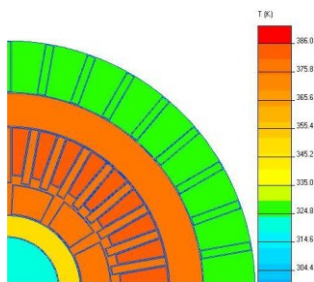


Рис. 5. Базовий варіант

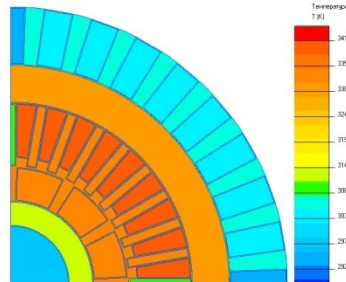


Рис. 6. Варіант 1

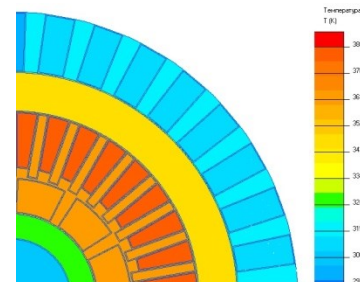


Рис. 7. Варіант 2

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Залежно від поставленого завдання можливі три варіанти проектування МПСБР:

Варіант 1. МПСБР із високим значенням ККД та високою перевантажувальною здатністю по струму. Аналіз отриманих результатів показує, що в цьому випадку МПСБР може тривалий час працювати з дворазовим навантаженням по струму, що є критично важливим для окремих типів електричних машин, наприклад, для генераторів вітроустановок, що працюють в умовах стрибкоподібної зміни вітрового потоку;

Варіант 2. МПСБР із високим значенням вихідної потужності. У цьому випадку зберігається висока перевантажувальна здатність, але в малому інтервалі часу, обумовленому галузевими стандартами, відносно невелике 5% зниження ККД компенсується 39% приросту потужності;

Варіант 3. Дешевий МПСБР. Поступаючись попереднім варіантам ефективності (-22% ККД), ця конструкція легше базової на 26%. Враховуючи той факт, що всі низькообертові машини мають значні маси, такий варіант може бути цікавий у разі, коли головним критерієм є вартість обладнання.

Література

1. Патент України № 104943, Україна, МПК(2006.01) H02K29/06. Електрична машина бііндукторного типу / О.А. Андрищенко, В.В. Булгар, А.О. Бойко, А.Д. Івлєв, Д.А. Івлєв, О.В. Яковлев, В.Д. Косенков. – а201211580, заявл. 08.10.2012 ; опубл. 25.03.2014, Бюл. № 6.
2. Винаков А.Ф. Низкооборотная машина постоянного тока бииндукторного типа / А.Ф. Винаков, В.Д. Косенков, А.В. Яковлев, Д.А. Ивлєв // Электротехнічні та комп'ютерні системи. – К. : Техніка, 2015. – Випуск 19(95). – С. 106–110.
3. Івлєв Д.А. Низькошвидкісний генератор постійного струму з безобмотковим ротором для вітроенергетичної установки : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.09.01 "Електричні машини і апарати" / Івлєв Дмитро Анатолійович. – Одеса, 2019. – 21 с.
4. Патент України № 89072, МПК (2009) H02K 21/12. Торцевий електричний двигун постійного струму з комбінованим збудженням / В.В. Булгар, А.Д. Івлєв, Д.А. Івлєв, О.В. Яковлев. – а200708842, заявл. 31.07.2007 ; опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24.
5. Косенков В.Д. Анализ стационарного теплового поля в машине постоянного тока индукторного типа / В.Д. Косенков, Д.А. Ивлєв, А.В. Яковлев, Т.А. Желиба // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2015. – Вип. 5(229). – С. 93–97.
6. Булгар В.В. К исследованию тепловых свойств двигателей постоянного тока с дисковым ротором / В.В. Булгар, Д.А. Ивлєв, А.В. Яковлев // Электротехнічні та комп'ютерні системи : науково-технічний журнал. – К. : Техніка, 2011. – Випуск 03(79). – С. 298–299.
7. Гандшу В.М. Особенности расчета нагревания электромагнитных устройств с помощью пакета программ ELCUT [Електронний ресурс] / В.М. Гандшу. – Режим доступу : <http://elcut.ru/articles/gandshou/>.

References

1. Patent Ukrainy № 104943, Ukraine, MPK(2006.01) N02K29/06. Elektrychna mashyna biinduktornoho typu / O.A. Andriushchenko, V.V. Bulhar, A.O. Boiko, A.D. Ivliev, D.A. Ivliev, O.V. Yakovlev, V.D. Kosenkov. – a201211580, zaiavl. 08.10.2012 ; opubl. 25.03.2014, Biul. № 6.

2. Vynakov A. F. Nyzkooborotnaia mashyna postoiannoho toka byynduktornho typu / A.F. Vynakov, V.D. Kosenkov, A.V. Yakovlev, D.A. Yvlev // *Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy*. – K. : Tekhnika, 2015. – Vypusk 19(95). – S. 106–110.
3. Ivliev D.A. Nyzkoshvydkisnyi henerator postiinoho strumu z bezobmotkovym rotorom dlia vitroenerhetychnoi ustanovky : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.09.01 "Elektrychni mashyny i aparaty" / Ivliev Dmytro Anatoliiovych. – Odesa, 2019. – 21 s.
4. Patent Ukrainy № 89072, MPK (2009) NO2K 21/12. Tortsevyi elektrychnyi dvyhun postiinoho strumu z kombinovanyim zbudzhenniam / V.V. Bulhar, A.D. Ivliev, D.A. Ivliev, O.V. Yakovlev. – a200708842, zaiavl. 31.07.2007 ; opubl. 25.12.2009, Biul. № 24.
5. Kosenkov V. D. Analiz statsyonarnoho teplovoho polia v mashyne postoiannoho toka ynduktornoho typu / V.D. Kosenkov, D.A. Yvlev, A.V. Yakovlev, T.A. Zhelyba // *Herald of Khmelnytskyi National University*. – Khmelnytskyi, 2015. – Issue 5(229). – S. 93–97.
6. Bulhar V. V. K issledovaniyu teplovyh svoystv dvigatelej postoiannoho toka s diskovym rotorom / V.V. Bulhar, D.A. Yvlev, A.V. Yakovlev // *Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy : naukovy tekhnichni zhurnal*. – K. : Tekhnika, 2011. – Vypusk 03(79). – S. 298–299.
7. Handshu V.M. Osobennosti rascheta nagrevaniya jelektromagnitnyh ustroystv s pomoshh'ju paketa programm ELCUT [Elektronnyi resurs] / V.M. Handshu. – Rezhym dostupu : <http://elcut.ru/articles/gandshou/>.

Рецензія/Peer review : 27.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

КРИВЕНЧУК Ю. П.

Національний університет "Львівська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-2504-5833>e-mail: Yurii.P.Kryvenchuk@lpnu.ua

ХАНАС М.-Ю. Р.

Національний університет "Львівська політехніка"

e-mail: hanasura79@gmail.com

АЛГОРИТМ ВИДОБУВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ СПОРІДНЕНИХ ДАНИХ В СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Основою даної роботи є один з алгоритмів, що використовуються в рекомендаційних системах - рекомендаційна система основана на фільтрації вмісту. Вона аналізує пости користувачів у Twitter та враховує їх інтереси. Особливістю даної системи є те, що даний алгоритм використовує паралельні обчислення та частотний аналіз тексту. Це дає змогу об'єднати людей з однаковими інтересами.

Ключові слова: рекомендаційна система, дата майнінг, big data, nltk, tweepy.

Yurii KRYVENCHUK, Mykhailo-Yurii KHANAS

Lviv Polytechnic National University

ALGORITHM OF DATA MINING AND PROCESSING OF RELATED DATA IN SOCIAL NETWORKS

We live in a time of rapid growth of information technology, which is firmly entrenched in our daily lives. It is simply impossible to imagine a modern person without social networks, because they perform a communicative and informational function, namely: communication, information retrieval, news exchange, etc. Five hundred million tweets are posted daily, making Twitter a major social media platform from which topical information on events can be extracted. So, there is a lot of information available to the user, which is difficult to identify something specific and necessary in the usual way viewing. Accordingly, there is a need for technologies that can quickly process large amounts of data and highlight only the information that is useful to a particular user. This technology called recommender systems. It automatically suggest items to users that might be interesting for them. Due to the desire to unite people with common interests, it is relevant to develop a recommendation system based on social networks that help in personification of the user and compilation of his psychotype using his profile.

The paper has description and results of the creation of recommendation system. The basis of this work is one of the algorithms used in recommendation systems - the recommendation system is based on content filtering. It analyzes users' Twitter posts and calculates their interests. If we consider all the words, our model will not have good results and do not pay attention to what is important to use. Therefore, the most important step is always filtering data, so the number one task is to speed up the time of filtering text and retrieving data from the social network for further processing. The feature of this system is that this algorithm uses parallel calculations and frequency analysis of the text.

Keywords: recommendation system, date mining, big data, nltk, tweepy.

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

Ми живемо в час швидкого росту інформаційних технологій, які міцно увійшли в наше щоденне життя. Сучасну людину уявити без соціальних мереж просто неможливо, бо вони виконують комунікативну-інформаційну функцію, а саме: спілкування, пошук інформації, обмін новинами і тд. Дана робота покликана об'єднати людей зі спільними інтересами.

Головною ідеєю дослідження є за максимально короткий час обробити, проаналізувати, а також відфільтрувати за ознаками та атрибутами великий потік дописів користувачів у соціальних мережах. Дані можуть мати велику кількість "зайвих слів", наприклад: and, or, the, firstly, does [1]. Якщо брати до уваги всі слова, то модель не буде давати хороших результатів і не звертатиме увагу на дійсно важливі вирази. Тому завжди найважливішим кроком є фільтрування даних[2], отже завдання номер один - пришвидшення часу фільтрації тексту та діставання даних з соціальної мережі для її подальшої обробки.

Аналіз останніх джерел

В роботі [3] було проведено всебічний огляд методів прогнозування дружби в LBSN та запропоновано таксономію для організації існуючих методів, було висунуто пропозицію про п'ять нових методів для усунення недоліків, намагаючись знайти баланс між оптимізацією обчислювальних ресурсів та покращенням передбачуваної потужності. Таким чином, вони представили загальну панораму завдання прогнозування дружби в області LBSN із збалансованою глибиною, щоб полегшити дослідження та розробку додатків у реальному світі щодо цього важливого питання. Недоліком роботи є погана точності при нестачі даних.

В роботі [4] покращується SLOMA, застосовуючи соціальну регуляризацию до факторизації підматриць, позначену як SLOMA++. Таким чином, запропонована модель може отримати користь як від соціальних рекомендацій, так і від локального припущення низького рангу. Експериментальні результати з двох реальних наборів даних, Yelp і Douban, демонструють перевагу запропонованих моделей над LLORMA і MF. Але недоліком даної роботи є те, що важко охопити складні відносини та взаємодії між користувачами та елементами.

В роботі [5] було запропоновано новий метод соціальних рекомендацій, а саме Probabilistic Relational Matrix Factorization (PRMF), яка спрямована дізнатися оптимальну соціальну залежність між користувачами, щоб підтвердити точність рекомендацій. У даній рекомендаційній системі є два основних завдання, а саме: рекомендація предметів та прогнозування рейтингу.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: швидко і надійно обробити Великі дані для отримання рекомендацій друзів, пов'язаних спільними інтересами.

Виклад основного матеріалу

Для створення рекомендаційної системи було використано декілька досить поширених бібліотек і методик. Бібліотеки: multiprocessing, nltk, tweepy. Методики: bag-of-words.

Multiprocessing:

Це пакет, який підтримує породження процесів з використанням API, подібно до модуля threading. Пакет multiprocessing пропонує як локальну, так і віддалену паралельність, ефективно обходячи Global Interpreter Lock, використовуючи підпроцеси замість потоків. Завдяки цьому модуль дозволяє програмісту повністю використовувати кілька процесорів на певній машині. Він працює як на Unix, так і на Windows.

Модуль multiprocessing також представляє API, які не мають аналогів у модулі threading.[2] Яскравим прикладом цього є об'єкт Pool, який пропонує зручний засіб паралельного виконання функції за кількома вхідними значеннями, розподіляючи вхідні дані між процесами (паралелізація по даних). Наступний приклад демонструє загальну практику визначення таких функцій в модулі, щоб дочірні процеси могли успішно імпортувати цей модуль.

NLTK:

Це провідна платформа для побудови програм Python, які обробляють людську мову. Він надає прості у використанні інтерфейси для більш ніж 50 мов, а також набір бібліотек обробки тексту для класифікації, токенизації, стемінгу, тегування, синтаксичного аналізу та семантичних міркувань, обгортки для бібліотек NLP індустріального рівня. Проект також має хороше ком'юніті[6].

Завдяки практичному посібнику, що пояснює основи програмування поряд з темами з обчислювальної лінгвістики, а також зрозумілу документацію щодо API, NLTK підходить для лінгвістів, інженерів, студентів, викладачів, дослідників та всіх кого цікавить обробка людської мови. NLTK доступний для Windows та Unix систем.[7]

Tweepy:

Це пакет Python з відкритим кодом, який дає дуже зручний спосіб отримати доступ до API Twitter. Tweepy включає набір класів і методів, що представляють моделі Twitter та ендпоінти API, він прозоро обробляє різні деталі реалізації, такі як:

- Кодування та декодування даних
- HTTP-запити
- Пагінація результатів
- OAuth
- Обмеження запитів
- Потоки

Якби ми не використовували Tweepy, то нам довелося б мати справу з деталями низького рівня, пов'язаними із запитом HTTP, серіалізацією даних, автентифікацією та обмеженнями швидкості. Це може зайняти багато часу та спричинити помилки. Натомість завдяки Tweepy ми зосередились на функціональних можливостях, які хотіли імплементувати. Майже всю функціональність, яку надає Twitter API, можна використовувати через Tweepy.

Bag-of-words:

Модель "торба слів" - це уявлення, яке перетворює довільний текст у вектори фіксованої довжини, підраховуючи, скільки разів з'являється кожне слово. Цей процес часто називають векторизацією, тобто проводиться відстеження кількості слів і ігнорування граматичних деталей та порядок слів.[8] Його називають «мішком» слів, оскільки будь-яка інформація про порядок чи структуру слів у документі відкидається.

Ідея роботи програми

Ми визначаємо певний набір користувачів Twitter. Після цього програма паралельно обробляє їх наступним чином. Для кожного із користувачів ми дістаємо усі його дописи (твіти). Пізніше об'єднуємо це все в один великий текст. Робимо певний препроцесінг, а саме видаляємо стоп слова і розділові знаки. Далі токенизуємо текст, тобто ділимо його на слова. Після цього здійснюємо стемінг - це процес скорочення слова до основи. Будуємо bag-of-words, і на основі результатів проводимо підбірку користувачів по найчастіше вживаних словах, припускаючи що це спільні інтереси.

Приклад роботи системи наведено на рис. 1 та на рис. 2.

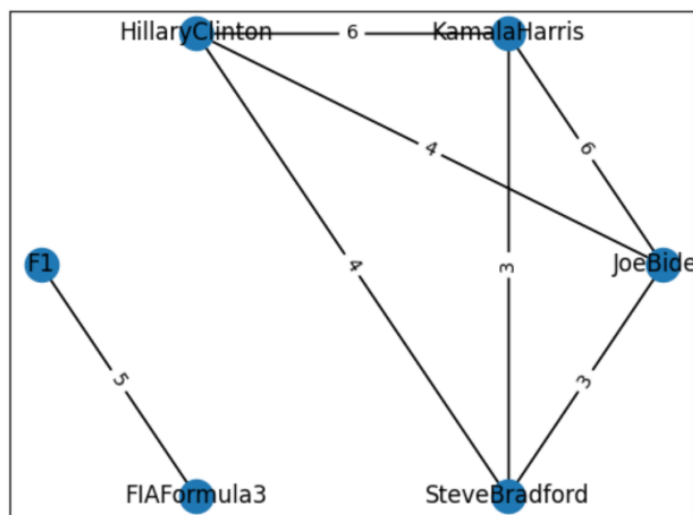


Рис. 1 Результат виконання програми

Для тестування програми було вибрано такі акаунти людей в Twitter: Joe Biden, Hillary Clinton, Kamala Harris, Steve Bradford, F1, FIAFormula3. Як бачимо програма нам видала 2 зважених графа. На ребрах вказано кількість інтересів між акаунтами. Дивлячись на результат програми, можна побачити, що вона досить добре впоралася, оскільки вона зрозуміла, що є 2 різні групи акаунтів. Також можна зауважити, що перший граф, містить всіх американських державних і політичних діячів, а другий граф містить акаунти пов'язані з F1. Можна зробити висновок, що вони справді мають спільні інтереси.

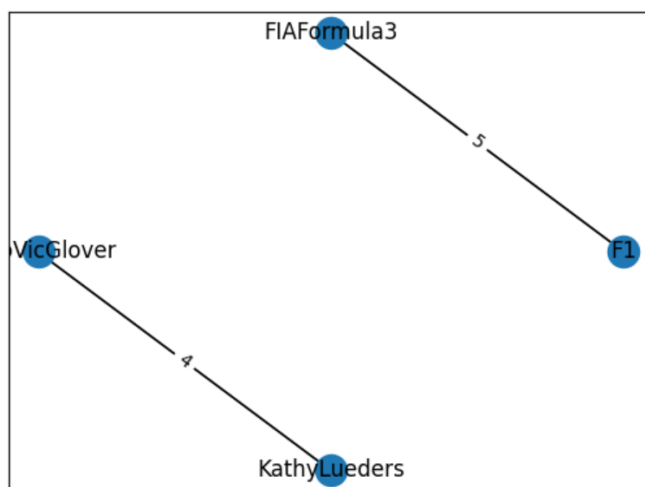


Рис. 2 Результат виконання програми

Для другого тесту взято групу людей, які пов'язані з космосом і F1. Було вибрано такі акаунти людей в Twitter: AstroVicGlover, KathyLueders, elonmusk, F1, FIAFormula3. Програма нам видала 2 зважених графа. Вона показала хороший результат, оскільки зрозуміла, що є 2 різні групи акаунтів. Можна побачити, що графи не містять акаунта elonmusk, оскільки наша програма обробляє лише перших 200 публікацій і серед оброблених публікацій людина може почати цікавитися іншими речима ніж ми очікували.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В результаті проведеної роботи створено рекомендаційну систему, яка швидко обробляє досить великі дані для отримання рекомендацій друзів, пов'язаних спільними інтересами. Ця ідея є дуже актуальною в наш час і дослідження цього напрямку є перспективним. Дана система, може широко застосовуватися у різних соціальних мережах та дасть змогу об'єднувати людей зі спільними інтересами.

Література

1. X. He, Z. He, X. Du, and T.-S. Chua, "Adversarial personalized ranking for recommendation," in The 41st International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval. ACM, 2018

2. J. Tang, X. Hu, and H. Liu, "Social recommendation: a review," *Social Network Analysis and Mining*, vol. 3, no. 4, 2013.
3. J. C. Valverde-Rebaza, M. Roche, P. Poncelet, and A. D. A. Lopes, The role of location and social strength for friendship prediction in location-based social networks, *Information Processing and Management*, vol. 54, no. 4, 2018, doi: 10.1016/j.ipm.2018.02.004.
4. H. Zhao, Q. Yao, J. T. Kwok, and D. L. Lee, Collaborative filtering with social local models, 2017, vol. 2017-November, pp. 645–654. doi: 10.1109/ICDM.2017.74.
5. Y. Liu, P. Zhao, X. Liu, M. Wu, and X.-L. Li. Learning Optimal Social Dependency for Recommendation. arXiv preprint arXiv:1603.04522, 2016.
6. Steven Bird, Ewan Klein, and Edward Loper, *Natural Language Processing with Python, Analyzing Text with the Natural Language Toolkit*, O'Reilly Media, 2009
7. J. Yu, M. Gao, J. Li, H. Yin, and H. Liu, "Adaptive implicit friends identification over heterogeneous network for social recommendation," in *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*. ACM, 2018
8. Davoudi and M. Chatterjee. Modeling trust for rating prediction in recommender systems. In *SIAM Workshop on Machine Learning Methods for Recommender Systems*, SIAM, 2016.

References

1. X. He, Z. He, X. Du, and T.-S. Chua, "Adversarial personalized ranking for recommendation," in *The 41st International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval*. ACM, 2018
2. J. Tang, X. Hu, and H. Liu, "Social recommendation: a review," *Social Network Analysis and Mining*, vol. 3, no. 4, 2013.
3. J. C. Valverde-Rebaza, M. Roche, P. Poncelet, and A. D. A. Lopes, The role of location and social strength for friendship prediction in location-based social networks, *Information Processing and Management*, vol. 54, no. 4, 2018, doi: 10.1016/j.ipm.2018.02.004.
4. H. Zhao, Q. Yao, J. T. Kwok, and D. L. Lee, Collaborative filtering with social local models, 2017, vol. 2017-November, pp. 645–654. doi: 10.1109/ICDM.2017.74.
5. Y. Liu, P. Zhao, X. Liu, M. Wu, and X.-L. Li. Learning Optimal Social Dependency for Recommendation. arXiv preprint arXiv:1603.04522, 2016.
6. Steven Bird, Ewan Klein, and Edward Loper, *Natural Language Processing with Python, Analyzing Text with the Natural Language Toolkit*, O'Reilly Media, 2009
7. J. Yu, M. Gao, J. Li, H. Yin, and H. Liu, "Adaptive implicit friends identification over heterogeneous network for social recommendation," in *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*. ACM, 2018
8. Davoudi and M. Chatterjee. Modeling trust for rating prediction in recommender systems. In *SIAM Workshop on Machine Learning Methods for Recommender Systems*, SIAM, 2016.

Рецензія/Peer review : 13.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

КРИЛИК Л. В.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6642-754X>e-mail: lyudmila.krylik@gmail.com

ЄВСЄЄВА М. В.

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова

<https://orcid.org/0000-0002-4570-2845>e-mail: evseevamy359@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ В ПРОЦЕСІ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРА НА ЧУТЛИВІСТЬ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ

З метою оптимізації параметрів створення вологочутливого шару ємнісного сенсора вологості застосовано багатофакторний план експерименту в поєднанні з регресійним аналізом впливу фактора. Статистична обробка результатів факторного експерименту за критерієм Кохрена довела, що факторний експеримент є відтворюваним. Використовуючи матрицю планування повнофакторного експерименту розроблено рівняння регресії, на основі якого встановлено, що концентрація розчину солі, яку використано для створення вологочутливого шару, суттєво впливає на чутливість ємнісного сенсора вологості. За критерієм Ст'юдента встановлено, що всі коефіцієнти рівняння регресії є значимими. Як критерій оптимізації параметрів створення вологочутливого шару такого ємнісного сенсора вологості обрано чутливість. Остаточне рівняння регресії в масштабі реальних факторів дає змогу провести оптимізацію параметрів створення вологочутливого шару ємнісного сенсора вологості з максимальним значеннями функції відгуку – «чутливість». Встановлено, що найбільша чутливість 36,32 пФ/% забезпечується за таких оптимальних параметрів процесу створення вологочутливого шару: концентрації розчину солі, яка виконує функцію адсорбуючого матеріалу, а саме гігроскопічної солі NaCl – 5,33 моль/л і товщині вологочутливого шару 10,0 мкм.

Ключові слова: рівняння регресії, матриця планування, повнофакторний експеримент, фактор, відгук моделі, критерій Ст'юдента, критерій Кохрена.

Lyudmila KRYLIK

Vinnytsia National Technical University

Mariya EVSEVA

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya

APPLICATION OF REGRESSION ANALYSIS DURING THE ASSESSMENT PROCESS OF FACTOR IMPACT ON THE SENSITIVITY OF THE CAPACITIVE HUMIDITY SENSOR

In order to optimize the parameters of creating a moisture-sensitive layer of the capacitive humidity sensor, a multifactorial experiment plan was used in combination with regression analysis of the factor influence. Capacitive humidity sensors are made on a sital substrate with size 0.7×0.9 mm, on the surface of which is applied a copper film, which forms the plates of the capacitive elements in the form of a meander with the appropriate geometry $7.85 \cdot 10^{-2} \times 150 \cdot 10^{-6} \times 1.2 \cdot 10^{-6}$ m. Hygroscopic salt is a moisture-sensitive film that serves as a dielectric. Solutions of hygroscopic salt NaCl with concentrations 0.89 mol/l and 5.33 mol/l were used to create a moisture-sensitive film, which were applied to the surface of capacitive humidity sensors by spraying at a distance of 40–50 cm with thicknesses of 5.0 μm and 10.0 μm. Statistical processing of the results of the factor experiment by the Cochran test proved that the factor experiment is reproducible. Using the planning matrix of the full-factor experiment, a regression equation has been developed and on the basis of which it has been found that the concentration of salt solution used to create a moisture-sensitive layer significantly affects the sensitivity of the capacitive humidity sensor. According to Student criteria it has been established that all the coefficients of the regression equation are significant. Sensitivity has been chosen as criteria for parameters optimization of creation a moisture-sensitive layer of such a capacitive humidity sensor. The final regression equation on the scale of real factors makes it possible to optimize the parameters of creation a moisture-sensitive layer of the capacitive humidity sensor with the maximum values of the response function – "sensitivity". It has been found that the highest sensitivity of 36.32 pF/% is provided by the following optimal parameters of the process of creating a moisture-sensitive layer: the concentration of salt solution, which serves as an adsorbent material, namely hygroscopic salt NaCl – 5.33 mol/l and thickness of moisture-sensitive layer 10.0 μm.

Keywords: regression equation, planning matrix, full-factor experiment, factor, model response, Student test, Cochran test.

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

Нині серед первинних перетворювачів різного типу особливе місце у вимірювальній техніці займають сенсори вологості. Необхідність контролю вологості в різноманітних галузях промислової індустрії, а також у побуті і те, що відносна вологість є фізичним параметром, який важко підлягає перетворенню в електричний сигнал, зробила актуальною проблему розроблення і дослідження різноманітних сенсорів вологості, принцип дії яких базується на зміні електрофізичних параметрів [1–6]. Крім того, від конструктивного рішення вологочутливих елементів, принципу їх дії та технології виготовлення суттєво залежить технічний рівень сенсорних систем. Розроблення нових вологочутливих елементів або вдосконалення існуючих потребує проведення значної кількості експериментальних досліджень. У ході експерименту одержують безліч даних, які потрібно структурувати та інтерпретувати для використання під час прийняття рішень стосовно структури та параметрів як вологочутливих елементів, так і вимірювальних систем. Для того, щоб правильно інтерпретувати отримані вихідні дані, потрібно планувати проведення експериментів. Планування експерименту широко використовується в різноманітних

галузях промисловості. Планування експерименту – це розроблення такого плану експерименту, який дозволяє за мінімальної кількості прогонів (кількість реалізацій) експерименту і за мінімальних затрат ресурсів зробити статистично ґрунтовні висновки або знайти оптимальні рішення стосовно структури розробки, або ж її функціонування [7–12].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Теорія планування експерименту займається проблемами одержання найбільшої кількості інформації про реальний об'єкт при мінімальних затратах як комп'ютерного часу, так і часу дослідника. А спеціальні засоби планування експериментів дозволяють скласти ефективний план проведення експериментів, що забезпечує збір необхідної інформації для отримання обґрунтованих висновків при мінімальних затратах.

Крім того, плани експериментів поділяють на однофакторні та багатофакторні. На відміну від *однофакторних* планів експериментів, які досліджують тільки вплив одного фактора на відгук моделі, *багатофакторні* плани експериментів будують з урахуванням сумісного впливу факторів на відгук моделі. Такі плани дозволяють досліджувати вплив як кожного фактора, так і вплив взаємодій різних факторів. Тобто, застосування багатофакторних планів сприяє детальному аналізу проведеного експерименту, а саме дає змогу визначити значення використовуваних факторів, а також їх вплив на характеристики та поведінку досліджуваного об'єкта, процесу. За своєю природою фактори поділяються на якісні та кількісні. Для кількісного оцінювання впливу факторів використовують *регресійний* аналіз [7–10, 12], а для якісного оцінювання впливу факторів – *дисперсійний* аналіз [11].

Метою регресійного аналізу є кількісне оцінювання впливу фактора. Цей тип аналізу дає змогу визначити, який з факторів спричиняє найбільший вплив, а який – найменший. Та як потрібно змінювати значення факторів, щоб досягти збільшення або зменшення значення відгуку моделі на задану величину [12].

Отже, розробка багатофакторного плану експерименту та практичне його застосування в поєднанні з регресійним аналізом впливу фактора нині є актуальною задачею.

Постановка завдання

Метою роботи є оцінювання впливу на чутливість ємнісного сенсора вологості таких факторів:

- товщини вологочутливого шару;
- концентрації розчину солі, як адсорбуючого матеріалу.

Для досягнення поставленої мети у роботі потрібно вирішити такі задачі:

- 1) провести аналіз існуючих наукових джерел та обґрунтувати доцільність застосування багатофакторного плану експерименту;
- 2) розробити багатофакторний план експерименту на основі матриці планування;
- 3) використовуючи регресійний аналіз впливу фактора провести оцінювання впливу таких факторів: товщини вологочутливого шару; концентрації розчину солі, як адсорбуючого матеріалу на чутливість ємнісного сенсора вологості;
- 4) зробити висновки з проведених досліджень.

Виклад основного матеріалу

При проведенні серії експериментів досліджувалась залежність чутливості ємнісного сенсора вологості від впливу таких факторів: товщини вологочутливого шару та концентрації розчину солі, як адсорбуючого матеріалу (гігроскопічна сіль NaCl).

Ємнісні сенсори вологості виготовлені на ситаловій підкладці розміром $0,7 \times 0,9$ мм, на поверхні якої нанесена плівка міді, яка утворює обкладки ємнісних елементів у вигляді меандру з відповідною геометрією $7,85 \cdot 10^{-2} \times 150 \cdot 10^{-6} \times 1,2 \cdot 10^{-6}$ м [4]. Вологочутливою плівкою, яка слугує діелектриком, є гігроскопічна сіль. Для створення вологочутливої плівки використовувались розчини гігроскопічної солі NaCl з концентраціями

0,89 моль/л та 5,33 моль/л, які наносились на поверхню ємнісних сенсорів вологості пульверизатором на відстані 40 – 50 см товщинами 5,0 мкм та 10,0 мкм.

Для проведення розрахунків приймемо такі позначення: фактор X_1 – товщина вологочутливого шару d , мкм; фактор X_2 – концентрація розчину солі NaCl, яка виконує функцію адсорбуючого матеріалу C , моль/л; відгук моделі y – чутливість ємнісного сенсора вологості S_C , пФ/%.

Тип експерименту – це число, яке дорівнює кількості експериментів в плані. Так, для двох факторів кількість експериментів буде $2^2 = 4$, тобто $N = 4$.

В результаті проведення повного факторного експерименту типу 2^2 при кількості прогонів $p = 3$ отримані такі значення відгуку моделі y_{ij} (табл. 1):

Таблиця 1

Результати повного факторного експерименту типу 2^2

X_1	X_2	y_{j1}	y_{j2}	y_{j3}
5,0	0,89	5,2	4,8	6,7
10,0	0,89	6,1	5,0	7,5
5,0	5,33	10,1	16,2	25,3
10,0	5,33	32,5	28,1	49,0

Перейдемо до статистичної обробки результатів факторного експерименту. На початку статистичної обробки виконують оцінку *відтворюваності* експерименту за критерієм Кохрена. Для цього розраховують значення дисперсії у кожному експерименті D_j , сумарне D_Σ та максимальне D_{\max} значення дисперсії за такими формулами [12]:

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^p (y_{ij} - y_j)^2}{p-1}, \quad (1)$$

де y_{ij} – i -е спостереження відгуку моделі в j -му експерименті;

$$D_\Sigma = \sum_{j=1}^N D_j, \quad (2)$$

$$D_{\max} = \max_j D_j. \quad (3)$$

Потім обчислюють спостережуване значення критерію Кохрена:

$$G = \frac{D_{\max}}{D_\Sigma}. \quad (4)$$

Середні значення відгуку моделі обчислюють, використовуючи дані табл. 1 за такою формулою:

$$y_j = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p y_{ji}. \quad (5)$$

Спостережуване значення критерію Кохрена обчислимо за формулами (1) – (4):

– максимальне значення дисперсії:

$$D_{\max} = 121,4;$$

– сумарне значення дисперсії:

$$D_\Sigma = 182,48;$$

– спостережуване значення критерію Кохрена:

$$G \approx 0,665.$$

Перейдемо до визначення табличного значення критерію Кохрена $G_{кр}$. При рівні значимості $\alpha = 0,05$, кількості ступенів вільності $m = p - 1 = 3 - 1 = 2$, маємо $G_{кр} = 0,768$. Оскільки $0,665 < 0,768$, тобто $G < G_{кр}$, то факторний експеримент є відтворюваним і величина

$$D = \frac{1}{N} \sum_j D_j \quad (6)$$

є оцінкою дисперсії генеральної сукупності, тобто $D = 45,62$.

При проведенні експериментів за багатофакторним планом спочатку перетворюють вхідні змінні X_i , що змінюються в межах $(X_{i\min}, X_{i\max})$, в нові змінні x_i , що змінюються в межах $(-1, +1)$ за формулою [12]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta_i}, \quad (7)$$

$$\text{де } X_{i0} = \frac{X_{i\max} + X_{i\min}}{2}, \quad \Delta_i = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{2}.$$

Область проведення експериментів (табл. 1) $X_1 \in (5,0; 10,0)$, $X_2 \in (0,89; 5,33)$.

Перетворимо за формулами (7) початкові змінні в допоміжні, які змінюються в області $(-1; 1)$:

$$x_1 = \frac{X_1 - 7,5}{2,5}, \quad x_2 = \frac{X_2 - 3,11}{2,22}. \quad (8)$$

Складемо матрицю планування повнофакторного експерименту (ПФЕ) (табл. 2) та визначимо коефіцієнти рівняння регресії.

Таблиця 2

Матриця планування ПФЕ

2^2	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	y_j
1	+	-	-	+	5,57
2	+	+	-	-	6,2
3	+	-	+	-	17,2
4	+	+	+	+	36,53

Плануванню факторного експерименту типу 2^2 відповідає рівняння регресії в загальному вигляді:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2.$$

Використовуючи дані матриці планування ПФЕ (табл. 2), визначимо коефіцієнти рівняння регресії за такими формулами [12]:

$$b_0 = \frac{\sum y_i}{N}, \quad b_k = \frac{\sum y_i x_{ik}}{N}, \quad k = 1, \dots, N-1. \quad (9)$$

Коефіцієнти рівняння регресії набувають таких значень:

$$b_0 = 16,38; \quad b_1 = 4,99; \quad b_2 = 10,49; \quad b_3 = 4,68.$$

З врахуванням отриманих значень коефіцієнтів, рівняння регресії має вигляд:

$$y = 16,38 + 4,99x_1 + 10,49x_2 + 4,68x_1x_2. \quad (10)$$

Отже, аналізуючи отримане рівняння регресії, можна зробити висновок про те, що фактор x_2 спричиняє на відгук моделі набагато більший вплив, ніж фактор x_1 або x_1x_2 . Тобто концентрація розчину солі NaCl, яка використовувалась для створення вологочутливого шару суттєво впливає на чутливість емнісного сенсора вологості. Отримане рівняння регресії можна використовувати для наближених розрахунків відгуку моделі в області проведення експериментів.

Зважаючи на те, що експеримент є відтворюваним перейдемо до наступного етапу статистичної обробки результатів.

На цьому етапі оцінюють значимість коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм Ст'юдента. Спостережуване значення критерію Ст'юдента знаходять за формулою [12]:

$$t_j = |b_j| \sqrt{\frac{N \cdot p}{D}}, \quad (11)$$

При рівні значимості $\alpha = 0,05$, числі ступенів вільності $m = N \cdot (p-1) = 4 \cdot (3-1) = 8$, маємо табличне значення критерію Ст'юдента $t_{kp} = 2,31$.

Оцінюємо значимість коефіцієнтів b_j за формулою (11):

$$t_0 = 8,4 > t_{kp} = 2,31 \rightarrow b_0 \text{ є значимим};$$

$$t_1 = 2,56 > t_{kp} = 2,31 \rightarrow b_1 \text{ є значимим};$$

$$t_2 = 5,38 > t_{kp} = 2,31 \rightarrow b_2 \text{ є значимим};$$

$$t_3 = 2,4 > t_{kp} = 2,31 \rightarrow b_3 \text{ є значимим}.$$

Зважаючи на те, що всі коефіцієнти рівняння регресії є значимими, то наступний етап статистичної обробки результатів факторного експерименту не виконують, і вважають обробку результатів закінченою.

Перейдемо до розкодування рівняння регресії, яке отримали в результаті обробки результатів ПФЕ. Фактори x_1 , x_2 входять до рівняння регресії у кодованому вигляді, щоб одержати рівняння в натуральному масштабі, потрібно скористатися обчисленими виразами (8). Підставимо ці вирази переходу до кодованих факторів у рівняння регресії (10), яке отримали на основі поточних розрахунків. У результаті отримаємо остаточне рівняння регресії в масштабі реальних факторів, яке має такий вигляд:

$$y = 6,38 - 0,63X_1 - 1,60X_2 + 0,84X_1X_2. \quad (12)$$

Отримане остаточне рівняння регресії в масштабі реальних факторів (12) дає змогу провести оптимізацію параметрів створення вологочутливого шару емнісного сенсора вологості з максимальним значеннями функції відгуку – «чутливість». Як критерій оптимізації параметрів створення вологочутливого шару такого емнісного сенсора вологості обрано чутливість. З експериментів видно, що чутливість емнісного сенсора вологості залежить від таких факторів як товщина вологочутливого шару та концентрації розчину солі NaCl, яка виконує функцію адсорбуючого матеріалу. Однак, суттєвий вплив на чутливість емнісного сенсора вологості має концентрація розчину гігроскопічної солі NaCl. Встановлено, що найбільша чутливість 36,32 пФ/% забезпечується при таких оптимальних параметрах процесу створення вологочутливого шару: концентрації адсорбуючого матеріалу – 5,33 моль/л і товщині вологочутливого шару 10,0 мкм.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. Встановлено, що метрологічні характеристики вологочутливих елементів визначаються насамперед фізико-хімічними та адсорбційними властивостями використаного сорбенту. Нині в промисловості та наукових дослідженнях використовуються технологічні процеси, які вимагають високоточного контролю відносної вологості середовища і висувують високі вимоги до якості вологочутливих елементів. Тому, з метою оптимізації параметрів створення вологочутливого шару ємнісного сенсора вологості, застосовано метод планування багатофакторного експерименту в поєднанні з регресійним аналізом впливу фактора. В результаті отримано рівняння регресії, яке описує залежність цільової функції «чутливість» від таких параметрів впливу – товщина вологочутливого шару та концентрація розчину солі NaCl, яка виконує функцію адсорбуючого матеріалу. Доведено, що концентрація розчину солі NaCl, яка використовувалась для створення вологочутливого шару має більший вплив на чутливість ємнісного сенсора вологості ніж товщина цього шару. Отримане рівняння регресії можна використовувати для наближених розрахунків відгуку моделі в області проведення експериментів.

2. В результаті розкодування рівняння регресії отримано остаточне рівняння регресії в масштабі реальних факторів. Рівняння регресії в масштабі реальних факторів дає змогу провести оптимізацію параметрів створення вологочутливого шару ємнісного сенсора вологості з максимальним значеннями функції відгуку – «чутливість». Найбільша чутливість 36,32 пФ/% забезпечується при таких оптимальних параметрах процесу створення вологочутливого шару: концентрації розчину адсорбуючого матеріалу, а саме гігроскопічної солі NaCl – 5,33 моль/л і товщині вологочутливого шару 10,0 мкм.

3. В подальших дослідженнях планується застосувати метод планування багатофакторного експерименту для того, щоб дослідити як зміниться чутливість ємнісного сенсора вологості при створенні двошарової структура, нижнім шаром, якої є гігроскопічна сіль, а верхнім – полімер.

Література

1. Готра З. Ю. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. Том 2 / З. Ю. Готра. – Львів : Ліга-Прес, 2003. – 595 с.
2. Осадчук В. С. Сенсори вологості / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2003. – 208 с.
3. Осадчук В. С. Дослідження резистивних вологочутливих елементів / В. С. Осадчук, Л. В. Крилик // Вісник ВПІ. – 2001. – № 6. – С. 148–152.
4. Осадчук В. С. Дослідження ємнісних вологочутливих елементів / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Вісник ВПІ. – 2002. – № 5. – С. 65–71.
5. Осадчук В. С. Ємнісний сенсор вологості гребінцевої структури на основі полімерних матеріалів / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. Міжнародний науково-технічний журнал. – 2006. – № 2(12). – С. 222–227.
6. Осадчук О. В. Ємнісні сенсори вологості на основі стибій або бісмутвмісних діоксидів ніколу (II) / О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 1(221). – С. 131–135.
7. Ляшок А. В. Планування багатофакторного експерименту при дослідженні процесу ультразвукового розпилення в тонкому шарі / А. В. Ляшок // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2013. – № 3. – С. 13–17.
8. Павлюк К. В. Методичні підходи до розроблення нормативів і оцінки науково-дослідної праці на основі багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу / К. В. Павлюк // Наукові праці НДФІ. – 2020. – № 3(92). – С. 5–19.
9. Аксьончиков С. О. Регресійний аналіз тенденцій розвитку кібератак / С. О. Аксьончиков, І. В. Ємельянова, К. Д. Маркова, І. І. Сватовський // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Мат. моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління. – 2017. – Вип. 36. – С. 5–13.
10. Кучернюк П. В. Модель загроз безпеки в інформаційно-комунікаційних системах на основі регресійного аналізу / П. В. Кучернюк, А. О. Довгаль // Інформаційні та телекомунікаційні системи та технології, захист інформації. – 2017. – Вип. 22, № 2. – С. 79–84.
11. Самарець Н. М. Використання інформаційних технологій у статистичному аналізі даних для аграрних підприємств / Н. М. Самарець, Є. М. Харченко, Н. О. Чорна // АГРОСВІТ. – 2013. – № 20. – С. 14–20.
12. Стеценко І. В. Моделювання систем / І. В. Стеценко. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.

References

1. Hotra Z. Yu. Mikroelektronni sensory fizychnykh velychyn. Tom 2 / Z. Yu. Hotra. – Lviv : Liha-Pres, 2003. – 595 s.
2. Osadchuk V. S. Sensory volohosti / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk. – Vinnytsia : UNIVERSUM – Vinnytsia, 2003. – 208 s.
3. Osadchuk V. S. Doslidzhennia rezystyvnykh volohochutlyvykh elementiv / V. S. Osadchuk, L. V. Krylyk // Visnyk VPI. – 2001. – № 6. – S.148–152.

4. Osadchuk V. S. Doslidzhennia yemnisnykh volohochutlyvykh elementiv / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, M. V. Yevsieieva // Visnyk VPI. – 2002. – № 5. – S. 65–71.
5. Osadchuk V. S. Yemnisnyi sensor volohosti hrebintsevoi struktury na osnovi polimerykh materialiv / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, M. V. Yevsieieva // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal. – 2006. – № 2(12). – S. 222–227.
6. Osadchuk O. V. Yemnisni sensory volohosti na osnovi stybii abo bismutvmsnykh dioksymativ nikolu (II) / O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, M. V. Yevsieieva // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2015. – № 1(221). – S. 131–135.
7. Liashok A. V. Planuvannia bahatofaktornoho eksperymentu pry doslidzhenni protsesu ultrazvukovoho rozpylennia v tonkomu shari / A. V. Liashok // Visnyk NTUU «KPI». Seriiia mashynobuduvannia. – 2013. – № 3. – S. 13–17.
8. Pavliuk K. V. Metodychni pidkhody do rozroblennia normatyviv i otsinky naukovo-doslidnoi pratsi na osnovi bahatofaktornoho koreliatsiino-rehresiinoho analizu / K. V. Pavliuk // Naukovi pratsi NDFI. – 2020. – № 3(92). – S. 5–19.
9. Aksonchykov S. O. Rehresiinyi analiz tendentsii rozvytku kiberatak / S. O. Aksonchykov, I. V. Yemelianova, K. D. Markova, I. I. Svatovskiy // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriiia: Mat. modeliuvannia. Informatsiini tekhnolohii. Avtomatyzovani systemy upravlinnia. – 2017. – vyp. 36. – S. 5–13.
10. Kucherniuk P. V. Model zahroz bezpeky v informatsiino-komunikatsiinykh systemakh na osnovi rehresiinoho analizu / P. V. Kucherniuk, A. O. Dovhal // Informatsiini ta telekomunikatsiini systemy ta tekhnolohii, zakhyst informatsii. – 2017. – vyp. 22, №2. – S. 79–84.
11. Samarets N. M. Vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii u statystychnomu analizi danykh dlia ahrarnykh pidpriemstv / N. M. Samarets, Ye. M. Kharchenko, N. O. Chorna // AHROSVIT. – 2013. – № 20. – S. 14–20.
12. Stetsenko I. V. Modeliuvannia system / I. V. Stetsenko. – Cherkasy : ChDTU, 2010. – 399 s.

Рецензія/Peer review : 12.07.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

КУЛЕШОВА С. Г.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2361-2950>e-mail: kuleshovas@khmnu.edu.ua

КОШЕВКО Ю. В.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7275-0853>e-mail: koshevkoyu@khmnu.edu.ua

НАЙЧУК Д. П.

Хмельницький національний університет

ЛЕБЕДИНСЬКА О. П.

Хмельницький національний університет

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕКОРУВАННЯ ВИРОБІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

В роботі наведено результати досліджень принципів формування проектних образів в сучасній масовій моді в контексті використання інноваційних технологій декорування на прикладі проектування авторської колекції жіночого одягу. Сформовано систему структурно-логічних зв'язків елементів проектного модного образу, а також проаналізовано та систематизовано інноваційні технології декорування і продемонстровано етапи їх інтеграції у fashion-дизайн одягу.

Ключові слова: інноваційні технології, декорування, авторська колекція, принт, проектний образ

Svitlana KULESHOVA, Julia KOSHEVKO, Diana NAJCHUK, Oksana LEBEDYNSKA
Khmelnytskyi National University

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR DECORATING LIGHT INDUSTRY PRODUCTS

The article is devoted to the solution of the task of forming project images in modern mass fashion in the context of the use of innovative decoration technologies on the example of designing an author's collection of women's clothing.

The scientific novelty of the study consists of the analysis and systematization of creative and innovative decoration technologies with the aim of further integration into the fashion design of clothing. The study's practical significance lies in the study of characteristic techniques and elements of innovative clothing decoration. The article describes the stages and provides recommendations for producing the author's prints for decorating products of the author's collection. The authors focused on developing the author's print using computer technologies in universal graphic reactors of both raster and vector graphics for further thermal transfer printing.

The study demonstrates the process of forming a sketch of a fashionable design image using an information model, which allows authors to present it as a single symbolic system using modern practices of visual presentation of trendy innovations.

The products in the collection are made of different materials, which, when combined into sets, give the image of unusualness and sophistication. The collection was developed in the format of the Pop Art style using fashion trends. The authors defined and thought out the main images, forms, and constituent elements of the designed products of the author's collection sets. When creating clothing models, special attention was paid to the originality and multifunctionality of the collection's products and their parts. The creative and design, constructive, and technological solutions of models of sets of the author's collection were produced and presented at the All-Ukrainian competition of young designers "Colours of Podillia" (Khmelnytskyi, KhNU, 2022), were developed.

Keywords: innovative technologies, decoration, author's collection, print, project image

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

Високий рівень конкуренції на ринку fashion-індустрії стає поштовхом для пошуку дизайнерами все більш ефективних методів проектування одягу та застосування інноваційних підходів до вирішення ряду художньо-конструкторських завдань [1, 2]. Саме тому інноваційні технології активно впроваджуються у fashion-індустрію, впливаючи на формування модних тенденцій [1–4]. Сьогодні багато модельєрів використовують різні програми 3D-моделювання для того, щоб створювати свої неповторні аксесуари та одяг [2]. Інші воліють друкувати елементи модного одягу на спеціальних 3D-принтерах, або розробляють моделі одягу з підсвічуванням і всілякими датчиками [2, 3]. Тому можна з упевненістю сказати, що нові технології проникають у fashion-індустрію і вже починають ставати частиною нашого повсякденного одягу, допомагаючи вирішувати все нові і нові важливі завдання. Цей ринок на сьогоднішній день один з найдинамічніших, а це означає, що він – один з найперспективніших.

Таким чином, одне з основних завдань, яке стоїть перед фахівцями fashion-індустрії, – застосування досягнень науки, техніки та мистецтва у створенні неординарного, естетично та ергономічно досконалого одягу, і саме декорування дає можливість підвищити конкурентоспроможність і розширити асортимент швейних виробів. Тому, пошук концепції майбутньої колекції, її переосмислення і застосування засобів художньої виразності та новизни у вигляді інноваційного декорування стають запорукою успішності авторської колекції одягу серед широкого кола споживачів.

Аналіз досліджень та публікацій

Інформаційні комп'ютерні технології набули в ХХІ ст. широкого застосування в багатьох галузях науки і техніки. Вже нікого не дивує використання комп'ютерів для трансляції та зчитуванні текстової,

відео-, аудіо- інформації, що набуває глобального всесвітнього масштабу. Не є винятком дизайн одягу як сукупність творчих та технологічних процесів культурної діяльності людини. Сьогодні ряд досліджень інформаційних технологій [2–4] здебільшого спрямовані на удосконалення презентації дизайн-об'єктів.

Порівняно добре вивчені засоби проєктного моделювання: макетування (пошукове та демонстраційне) [2], проєктна графіка (ескізна та демонстраційна) [3, 4], та особливості дизайн-розробок колекцій одягу за різними джерелами творчості з використанням різних технік оздоблення [5]. Останнє десятиліття відбувається активізація робіт з візуального мислення, пов'язаних з моделюванням візуального сприйняття об'єктів дизайну [6]. Прагнення до інновацій стає поштовхом для вибору дизайнерами неординарного, комплексного джерела натхнення та пошуку нових ідей для його переосмислення та інтерпретації в матеріалі, формотворчих елементах колекції і ритмічній організації композиційного ряду [6–8].

Однак, аналіз останніх досліджень показує, що дослідженню інноваційних аспектів у дизайні одягу присвячено недостатньо уваги. В перерахованих дослідженнях відсутні теоретичні узагальнення або практичні рекомендації щодо розробки критеріїв і параметрів створення актуального проєктного образу в контексті застосування інноваційних технологій декорування моделей одягу.

Формування цілей статті

Відповідно, на основі проведеного аналізу досліджень і публікацій за даною тематикою, мета даної роботи визначена, як розробка принципів формування модних образів в сучасній масовій моді в контексті використання інноваційних технологій декорування на прикладі проєктування авторської колекції жіночого одягу. Для досягнення поставленої мети представляється доцільним визначення системи структурно-логічних зв'язків елементів проєктного модного образу в сучасній індустрії моди, а також характеристика інновацій в комунікативному просторі моди.

Об'єктом дослідження є процес проєктування авторської колекції жіночого одягу з використанням інноваційних технологій декорування. Предметом дослідження є інноваційні технології декорування.

Для досягнення поставленої мети застосовано системно-структурний, морфологічний аналіз, композиційно-конструктивний метод дослідження та синтез інформації. Для створення візуальних зображень застосовано графічні редактори: Gimp 2.10, Xara Designer Pro X 19 Free Trial, PaintTool SAI.

Виклад основного матеріалу

Художнє декорування одягу як елементу естетики повсякденного життя має велике значення для багатьох категорій населення в сучасному світі. В наш час існує велика кількість способів декорування одягу, що відрізняються використанням різних технологій та матеріалів [7–9].

В процесі дослідження для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні задачі: 1) проаналізувати різновиди інноваційного декорування в колекціях сучасних дизайнерів; 2) з урахуванням тенденцій моди обрати стиль майбутньої колекції, джерело творчості і виконати трансформацію джерела творчості в костюмні форми на основі його структурного аналізу і художньо-композиційних ознак стилю; 4) обрати тип і спосіб інноваційного декорування виробів авторської колекції; 5) виконати гармонізацію розроблених модних проєктних образів, їх презентацію і виготовити авторську колекцію жіночого одягу з інноваційним декоруванням виробів.

Аналіз різновидів інноваційного декорування в колекціях сучасних дизайнерів одягу. Для досягнення поставленої мети на основі аналітичних досліджень узагальнено і систематизовано різновиди інноваційного декорування у колекціях сучасних дизайнерів (рис. 1) [3]. Світові Будинки моди представили велику кількість колекцій одягу, в яких використано: металеву фурнітуру, тканини з перфорацією, безшовний трикотаж, одяг зі світлодіодами, «розумний» одяг, 3D-друк, аплікації, різноманітну складну вишивку тощо. Досліджуючи актуальні види декорування, визначено, що їх отримують за допомогою інноваційних пристроїв, а саме: лазерного друку, 3D-друку, цифрового друку, сублімаційного друку, оздобленням світлодіодами.



Рис. 1. Приклади інноваційного декорування в колекціях відомих дизайнерів: а) металеві сітки – Paco Rabanne; б) світлодіоди – Saddamhusen J.; в) перфорація і люверси – Elie Saab; г) знімна аплікація – Louis Vuitton; д) цифровий друк, сублімаційний друк – Alexander McQueen; є) об'ємна аплікація – Givenchy

Аналіз видів декорування показав, що його можна розділити на пласке, об'ємне та додаткові аксесуари. Пласке виконується безпосередньо на поверхні деталей виробу, при цьому просторова форма матеріалу не змінюється. Об'ємне змінює об'ємну форму виробу і окремих його деталей за рахунок зміни просторового розташування матеріалів.

Одним із самих популярних на сьогодні типів плаского декорування виробів легкої промисловості є друк на текстильних матеріалах. Оздоблення виробів різними малюнками, що орієнтовані на певний бренд, різні вікові категорії, стать та молодіжні рухи значно покращує зовнішній вигляд продукції. До способів нанесення малюнків на деталі одягу або готовий виріб належать: прямий цифровий друк, трафаретний друк, сублімація, термоперенесення плівок, покриття флоком, а також нанесення темотрансферу [8, 9].

Трансформація джерела творчості. З розвитком інноваційних технологій, популяризація модних інновацій з великою швидкістю поширює нові образи в просторі культури, навіюючи нові іміджі модності. Стиль одягу, основою якого є авторські принти, це стиль Arty Fashion і його різновид Поп-арт [7]. Цей вишуканий стиль моди привертає увагу завдяки сміливим, яскравим кольорам та принтам.

Таким чином, джерелом творчості авторської колекції обрано стиль Arty Fashion і його різновид Поп-арт, які є мистецькими стилями моди. Особливостями цих стилів є те, що вони не залежать від модних тенденцій та сучасного стилю. Їх обирають творчі, креативні, впевнені в собі особистості - експериментатори.

Важливим етапом в дизайн-проектуванні є аналіз модних тенденцій та стилю через призму історії з метою передачі цілісності колекції. Серед найвідоміших брендів, які представляли свої колекції у стилі Поп-арт, варто відмітити модні будинки Maison Margiela, Marni, Prada, Burberry, Alexander McQueen. З метою виділення характерних ознак авторської колекції створено творчий колаж. При роботі над колекцією використано фотографії і образи, що стали джерелом натхнення [3, 7]. Творчий колаж і моделі колекцій дизайнерів представлено на рис. 2.



Рис. 2. Молодіжний одяг і образи в стилі ARTSY і Поп-арт

Другим етапом, завдяки виокремленим художньо-композиційним ознакам творчого джерела, виділено вихідні форми для проробки майбутніх силуетних форм моделей одягу авторської колекції (рис. 3). Далі проведено синтез обраних форм і сформовано базові форми виробів комплектів авторської колекції, які представлено методом механічного накладання форм, рис. 4.

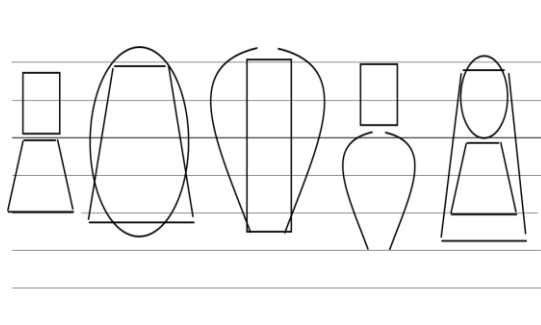


Рис. 3. Вихідні форми джерела творчості – виробів в стилі Поп-арт

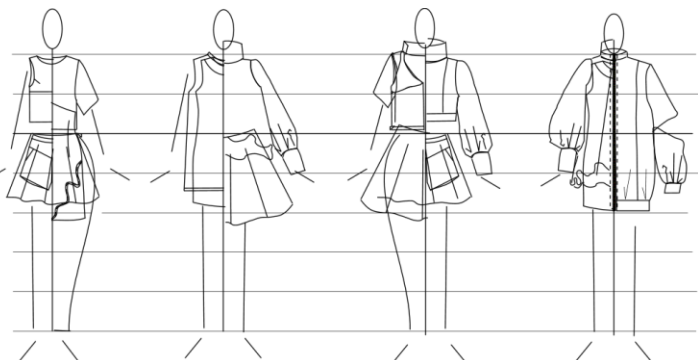


Рис. 4. Базові форми моделей одягу авторської колекції

Третім етапом було колористичне пророблення і розробка авторських принтів. Сьогодні принт на одязі популярний як серед людей, охочих виділитися з натовпу, так і серед власників бізнесу, які хочуть привернути увагу до свого бренду. Вперше друк на тканині з'явився в 50-х роках XX століття у штаті Флорида (США), завдяки компанії Trophix Togs [8]. Метод використовували для нанесення написів на футболки: в основному друкували назви популярних курортів. Трохи пізніше організація отримала право наносити на одяг зображення диснейвських персонажів. Після цього метод стрімко почав набирати

популярність серед інших компаній, з'явилися фабрики для друку на тканині, найбільшою з яких стала Sherry Manufacturing Company [9]. У 1959 році почався новий етап в історії друку на одязі – винайшли стійкі фарби для друку на світшотах, футболках і іншому текстилю, завдяки чому вдалося значно урізноманітнити можливості методу і значно покращити якість продукції. Тільки в 80-х роках ХХ століття принт на тканині почав набувати нового змісту – став своєрідним способом розповісти світові про свої погляди і захоплення [9].

Вироби, оздоблені принтом, виглядають ефектно і можуть надати винятковості навіть найпростішим моделям одягу. Перший рівень роботи над принтами для авторської колекції – виконання принтів за допомогою різних технік малювання в ручному режимі на папері, рис. 5. Авторські ескізи представлені скрінами зі сторінки в Instagram автору Dayna_weinstein. Наведені на рис. 5. графічні розробки відображають модні тенденції сезону та принципи їх адаптації до проектного образу авторської колекції. Для цього визначено емоційно-виразну форму об'єкта, знайдено такі пропорції, контури, ритми, кольорні відносини, матеріал, фактуру, орнамент, розташування колірних плям, які разом відображають певний емоційний стан і настрій. При цьому характерні мотиви першоджерела повинні швидше сприйматися підсвідомо та емоційно, ніж акцентуватись.



Рис. 5. Художні ескізи авторських принтів, Instagram-сторінки автору

Другий рівень – виконання авторських принтів в ручному режимі на папері в стилі Поп-арт. При дизайн-проектуванні авторської колекції одягу з використанням власних принтів, виконані рисунки – це жіночі портрети.

Планується на кожному виробі колекції рисунок розташовувати по різному, але загалом, це будуть великі портрети, розміщені на центральних частинах виробів. Вивчення еволюції форми одягу, історії стилю Поп-арт пробуджує фантазію, дає можливість поєднати функціональні та естетичні аспекти, збагачує формальні засоби гармонізації композиції у пошуках найвиразніших пропорцій, ритму, симетрії, динамічності зображень, рис. 6.

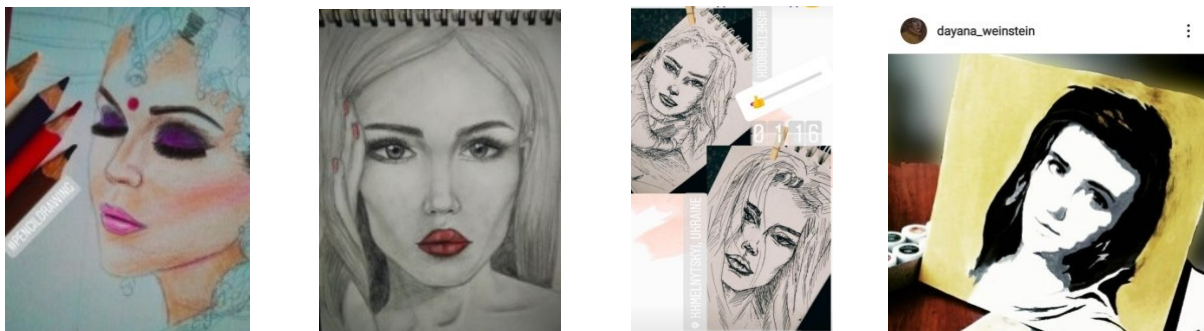


Рис. 6. Художні ескізи авторських принтів в стилі Поп-арт, Instagram-сторінки автору

Четвертий етап – графічна розробка ескізної пропозиції проектных образів виробів колекції.

Ескізна пропозиція колекції полягає в створенні проектных образів взаємопов'язаних комплектів модного одягу на основі творчої трансформації декількох найбільш образних і характерних властивостей об'єкта-першоджерела – стилю Поп-арт і, відповідно, інноваційного декорування. Крім того, між усіма ескізами в колекції зберігаються закономірності логічного та наочного послідовного розвитку проектного образу та форми у межах кожного костюма-образу. Інакше висловлюючись, кожна з ескізних пропозицій модного костюма має відтворювати різні, але взаємодоповнюючі риси об'єкта під час створення його цілісного образу.

У розробці авторської колекції принципи розвитку проектного образу наступні: видозміна геометричної форми; видозміна колориту; видозміна характеру декору (принта); видозміна пропорційності та членування; видозміна цілісного образу, зумовлена авторською концепцією.

Таким чином, на новостворену основу трансформується художній образ першоджерела у вигляді методів адаптації модних тенденцій: силует, багат шаровість, декоративність, поєднання тканин та матеріалів, принципи пропорційності та внутрішнього членування форми, засоби композиції.

На кожному етапі розвитку колекції одна і та ж базова форма і той самий образ представлений

декількома варіантами, які відрізняються за обсягом і членуванням, або по всіх композиційних лініях. Відповідно, при розробці проєктного образу виявлено принципи взаємозв'язку характеристик модного



Рис. 7. Творчі ескізи авторської колекції

арт. П'ять моделей-пропозицій в кольорі представлено на рис. 7. Розрахована на споживачів, які слідкують за модними тенденціями, колекція об'єднує такі вироби асортиментного ряду, як спідниці, шорти, блузки, сукні, жилет, куртки, що утворюють різні комплекти та можуть бути поєднані з іншим одягом. При розробці колекції збережено різновиди форм і кольорів, що характеризують стиль Поп-арт, але з наданням образу більшої жіночності, сучасності і інноваційності.

Вибір способу інноваційного декорування виробів авторської колекції

Наступна задача – художнє оздоблення виробів колекції за допомогою інноваційних технологій. Для вибору способу друку на текстильних матеріалах необхідно врахувати всі фактори, що вплинуть на якість та експлуатаційні характеристики виробу. Особливості способів нанесення зображення на текстиль зведено в таблицю 1 [9–12].

Таблиця 1

Порівняння технологій перенесення зображення на тканину

Параметр	Сублімаційний друк	Термоперенесення	Флекс-друк	Трафаретний друк	Прямий друк по тканині	Нанесення фольги на тканину
Швидкість перенесення	Середня	Середня	Середня	Дуже висока	Висока	Середня
Необхідність підготовки оригіналу	+	+	+	-	+	-
Колір заготовки	Важливий	Важливий	Не має значення	Важливий	Важливий	Не має значення
Якість зображення	Висока	Залежить від якості	Висока+контур високої якості	Висока	Висока	Висока
Стійкість до процесу прання	Дуже висока	Низька	Висока	Висока	Дуже висока	Висока
Площа надрукування	Обмежена форматом принтера/термопреса	Обмежена форматом принтера/термопреса	Обмежена форматом термопреса	Обмежена форматом трафаретної форми	Обмежена форматом принтера	Обмежена форматом термопреса
Півтонове зображення	+	+	+	-	+	-

Для досягнення мети дослідження обрано саме термотрансферний, або флекс-друк авторських принтів в стилі Поп-арт для створення гармонійного образу споживача. На першому етапі – принт розроблено в кольорі в графічному редакторі растрової графіки Gimp 2.10 (рис. 8 а). На другому етапі виконано його векторну поетапну розробку в графічному редакторі векторної графіки Xara Designer Pro X 19 Free Trial (рис. 8 б). В якості кольорової схеми зображення обрана кольорова схема СМУК, як найбільш розповсюджена в поліграфічній галузі та при повноколірному прямому трафаретному друці [11, 12].

Технологічний процес підготовки растрового зображення містить наступні етапи: 1) переведення зображення у відповідну кольорову схему (рис. 8 а); 2) поділ на канали у відповідності до кольорової схеми та створення окремих зображень, що відповідають кожному каналу (для кольорової схеми СМУК це 4

канали, відповідно і 4 фотошаблони); 3) переведення кожного зображення в растр. Під час переведення в растр для кожного каналу застосовуються окремі кути растрування, а також враховується лініатура відповідно до номеру сита друкарської форми. Застосування різних кутів під час растрування запобігає виникненню муару; 4) виготовлення контрольного зображення в кольоровій схемі СМΥК (рис. 8 б). Контрольне зображення виконують шляхом створення нового файлу в кольоровій схемі СМΥК, та подальшого розміщення відповідного растрового зображення у однойменний канал [11].

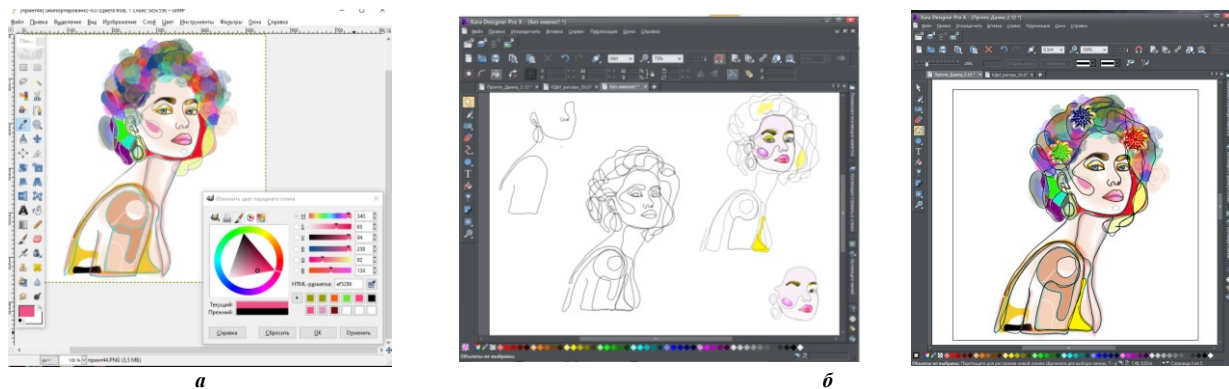


Рис. 8. Дизайн-розробка авторського принта:
а) в графічному редакторі Gimp 2.10; б) в Xara PRO X 19

На третьому етапі здійснено перенесення зображення на спеціальну плівку під дією тиску та високої температури (рис. 9), виготовлення фотошаблону основи рисунку, що виступає клейовою основою. Як правило в якості основи застосовують фарбу білого кольору, що дозволяє наносити трансфер на світлі і на темні тканини.



Рис. 9. Готові термотрансферні плівки з авторськими принтами: а) вигляд з лиця; б) вигляд з клейової сторони

Рисунок друкують на принтері та вирізають на ріжучому плоттері, видаляють зайві елементи плівки, після чого накладають на тканину і, за допомогою впливу високої температури, переносять на неї. Плівка складається з двох шарів: перший – плівка, яка реагує на зміну температури, а другий – термостійка підкладка, що утримує плівку до моменту перенесення на тканину. Цей спосіб вважається одним із зручних варіантів нанесення зображень і має багато переваг: нанесення як поодиноких так і великих партій зображення; висока стійкість до прання; незначні витрати часу на підготовку та нанесення зображення. Основним недоліком є неможливість виконання дрібної деталізації зображення [11].


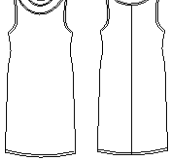
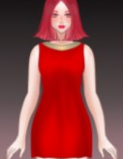
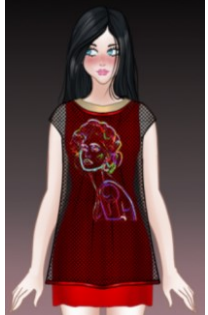

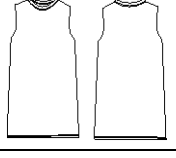

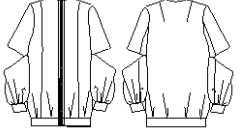
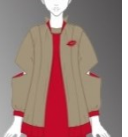


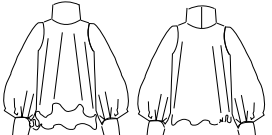

Гармонізація розроблених модних проєктних образів, їх презентація і виготовлення авторської колекції жіночого одягу з інноваційним декоруванням виробів

Для того, щоб розробленим проєктним образам авторської колекції надати статусу модності, необхідним є звернення до сучасних практик візуальної презентації модних інновацій в контексті сучасних комунікативних практик. Питання комунікативних практик, які застосовує мода, визначаються: в графічному рішенні модного образу (образотворчі техніки графічної презентації, комп'ютерні технології, пластичне формотворення в матеріалі); в презентації модного образу (фотографія, показ моделей одягу, поліграфічні та мас медійні засоби, перфоманси, відео та віртуальна презентація, реклама, інтегровані маркетингові технології, бренди моди та ін.) [4].

В цьому дослідженні до модних інновацій відносяться творчі ескізи проєктних образів моделей-ідей виробів авторської колекції, як об'єкти моди, що розглядаються в контексті їх формо- та образотворення, візуалізації й презентації. Генерацію і гармонізацію модних інновацій здійснено як візуалізацію художнього образного рішення майбутнього модного об'єкта в графічному, пластичному і колористичному рішенні, за допомогою розробленої на попередньому етапі дослідження інформаційною моделлю [4, 6]. Практична реалізація запропонованого підходу представлена у вигляді бази даних візуальних перетворень зображень ескізних форм вихідного проєктного образу виробів базового комплексу колекції з використанням програми комп'ютерної графіки PaintTool SAI [13] в табл. 2.

Таблиця 2

База даних візуальної видозміни вихідного проєктного образу виробів базового комплекту колекції

Ескізи виробів комплекту				Фото виробів комплекту
Модний образ	Модний образ трансформований		Перцептивний проєктний образ	
Творчий	Технічний	Гармонізований	Цифровий	
				
				
				
				

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Наукова новизна дослідження полягає у аналізі та систематизації креативних інноваційних технологій декорування з метою їх подальшої інтеграції у fashion-дизайн одягу.

Практичне значення полягає у дослідженні характерних прийомів і елементів інноваційного оздоблення одягу. Описано етапи, надано рекомендації з виготовлення авторських принтів для декорування виробів авторської колекції. Авторами акцентовано увагу на розробці авторського принта за допомогою комп'ютерних технологій в універсальних графічних реакторах як растрової, так і векторної графіки для подальшого термотрансферного друку.

Продemonстровано процес формування ескізу модного проєктного образу за допомогою інформаційної моделі, що дозволяє представити його як єдину знакову систему за допомогою сучасних практик візуальної презентації модних інновацій. Презентація ескізів моделі, або колекції одягу відбувається за допомогою комп'ютерних технологій, що надають дизайнерам одягу широкі образотворчі і художні можливості в контексті сучасних комунікативних практик.

Вироби в колекції виконано з різних матеріалів, що при їх поєднанні в комплекти надає образу незвичайності та вишуканості: еко-шкіра червона-лаке і золота, золота органза, червоне трикотажне полотно, чорна сітка-неопрен. Колекцію моделей одягу розроблено у форматі стилю Поп-арт з використанням модних тенденцій. Визначено і продумано основні образи, форми та складові елементи проєктованих виробів комплектів авторської колекції/ При створенні моделей одягу особливу увагу приділено оригінальності та багатофункціональності як окремих виробів комплектів, так і їх частин. Розроблено художньо-проєктні, конструктивно-технологічні рішення моделей комплектів авторської колекції, яку виготовлено і представлено на Всеукраїнському конкурсі молодих дизайнерів «Барви Поділля» (м. Хмельницький, ХНУ, 2022 р.).

Література

1. Чупріна Н.В. Значення об'єктів «haute couture» у формуванні споживацького попиту на продукти індустрії моди [Електронний ресурс] / Н.В. Чупріна, Б.-М. П. Флиса // Дизайн і ергономіка. ТЕХНОЛОГІЇ ТА ДИЗАЙН. – 2015. – № 1 (14). – С. 1–12. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2015_1_12
2. Даруга О. Розумна мода: як технології змінюють одяг? [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу : <https://studway.com.ua/rozumna-moda/>
3. Офіційний сайт VOGUE [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://vogue.ua/ua/collections/season/couture-vesna-let-2022>
4. Шандренко О.М. Стиль як презентативно-нормативний вимір комунікації моди [Електронний ресурс] / О.М. Шандренко // Традиції та інновації у вищій архітектурно-художній освіті. – 2014. – 4. – С. 78–

82. – Режим доступу : http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Tnvakho_2014_4_15.pdf
5. Остапенко Н.В. Дизайн-розробка колекції жіночого одягу з використанням авторських принтів / Н.В. Остапенко, С.В. Верба, Т.В. Луцкер, А.Ю. Антоноженко, Т.В. Авраменко // *Art and Design*. – 2018. – № 1 (01). – С. 114–125.
6. Кулешова С.Г. Перцептивний підхід до ознак візуалізації в моделюванні проектного рішення одягу / С.Г. Кулешова // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2019. – № 5. – С. 40–47.
7. POP ART Fashion [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.pinterest.com/lamodevogue/pop-art-fashion/>
8. Історія друку на тканині [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://singleprint.com.ua/blog/istoriya-pechati-na-tkani/> (дата звернення: 10.02.2021)
9. Хмілярчук О.І. Аналітичний огляд технологій перенесення зображення на тканину [Електронний ресурс] / О.І. Хмілярчук, А.Д. Шепельова // *Технологія і техніка друкарства*. – 2017. – Вип. 1. – С. 38–46. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Titd_2017_1_8
10. ORIGINAL printing studio: ways to print an image on fabric URL [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://original-shop.by/sposoby-pechati-izobrazheniya-na-tkani/> (date of application: 15.02.2021)
11. Prybeha D. Analysis of methods of printing images on textile materials and evaluation of their quality / Dmytro Prybeha, Julia Koshevko, Svitlana Smutko, Volodymyr Onofriichuk, Mykola Skyba, Oleg Synyuk, Svetlana Kuleshova, Svitlana Pidhaichuk and Borys Zlotenko // *Vlakna a Textil*. – 2021. – Volume 82(2). – P. 63–74. – URL : http://vat.ft.tul.cz/2021/2/VaT_2021_2_8.pdf
12. Кулешова С.Г. Використання інноваційних технологій декорування у fashion дизайні одягу / С.Г. Кулешова, Д.П. Найчук // *Advanced chemical technologies and materials for industry and the environment: Conference Proceedings. International Scientific and Technical Conference, 22-23 October 2020, Khmelnytskyi (Ukraine)*. – Khmelnytskyi National University. – 2020. – P. 67–71.
13. PaintTool SAI - SYSTEMAX Software Development. URL: <https://www.systemax.jp/en/sai/>

References

1. Chuprina N.V. Znachennia ob'ektiv «haute couture» u formuvanni spozhyvatskoho popytu na produkty industrii mody [Elektronnyi resurs] / N.V. Chuprina, B.-M. P. Flysak // *Dyzain i erhonomika. TEKhnOLOHII TA DYZAIN*. – 2015. – № 1 (14). – С. 1–12. – Rezhym dostupu : http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2015_1_12
2. Daruha O. Rozumna moda: yak tekhnologii zminiuiut odiah? [Elektronnyi resurs]. – 2016. – Rezhym dostupu : <https://studway.com.ua/rozumna-moda/>
3. Ofitsiyni sait VOGUE [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://vogue.ua/ua/collections/season/couture-vesna-let-2022>
4. Shandrenko O.M. Styl yak prezentatyvno-normatyvnyi vymir komunikatsii mody [Elektronnyi resurs] / O.M. Shandrenko // *Tradysii ta innovatsii u vyshchii arkhitekturno-khudozhnii osviti*. – 2014. – 4. – С. 78–82. – Rezhym dostupu : http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Tnvakho_2014_4_15.pdf
5. Ostapenko N.V. Dyzain-rozrobka kolekcii zhinochoho odiahu z vykorystanniam avtorskykh pryntiv / N.V. Ostapenko, S.V. Verba, T.V. Lutsker, A.Iu. Antoniuzhenko, T.V. Avramenko // *Art and Design*. – 2018. – № 1 (01). – С. 114–125.
6. Kuleshova S.H. Pertseptyvnyi pidkhid do oznak vizualizatsii v modeliuvanni proektnoho rishennia odiahu / S.H. Kuleshova // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. – 2019. – № 5. – С. 40–47.
7. POP ART Fashion [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.pinterest.com/lamodevogue/pop-art-fashion/>
8. Istoriia druku na tkanyini [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://singleprint.com.ua/blog/istoriya-pechati-na-tkani/> (data zvernennia: 10.02.2021)
9. Khmiliarchuk O.I. Analitichnyi ohliad tekhnologii perenesennia zobrazhennia na tkanyu [Elektronnyi resurs] / O.I. Khmiliarchuk, A.D. Shepelova // *Tekhnologii i tekhnika drukarstva*. – 2017. – Vyp. 1. – С. 38–46. – Rezhym dostupu : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Titd_2017_1_8
10. ORIGINAL printing studio: ways to print an image on fabric URL [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://original-shop.by/sposoby-pechati-izobrazheniya-na-tkani/> (date of application: 15.02.2021)
11. Prybeha D. Analysis of methods of printing images on textile materials and evaluation of their quality / Dmytro Prybeha, Julia Koshevko, Svitlana Smutko, Volodymyr Onofriichuk, Mykola Skyba, Oleg Synyuk, Svetlana Kuleshova, Svitlana Pidhaichuk and Borys Zlotenko // *Vlakna a Textil*. – 2021. – Volume 82(2). – R. 63–74. – URL : http://vat.ft.tul.cz/2021/2/VaT_2021_2_8.pdf
12. Kuleshova S.H. Vykorystannia innovatsiinykh tekhnologii dekoruvannia u fashion dyzaini odiahu / S.H. Kuleshova, D.P. Naichuk // *Advanced chemical technologies and materials for industry and the environment: Conference Proceedings. International Scientific and Technical Conference, 22-23 October 2020, Khmelnytskyi (Ukraine)*. – Khmelnytskyi National University. – 2020. – P. 67–71.
13. PaintTool SAI - SYSTEMAX Software Development. URL: <https://www.systemax.jp/en/sai/>

Рецензія/Peer review : 27.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

ЛЕВКІН Д. А.

Державний біотехнологічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-1980-4426>e-mail: dimailevkin23@gmail.com

ЖЕРНОВНИКОВА О. А.

Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди

<https://orcid.org/0000-0002-5383-4493>e-mail: oazhemovnykova@gmail.com

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ ГЕОМЕТРИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

В статті досліджені питання розробки математичних моделей оптимізації параметрів термічної дії на технічну систему. Авторами поставлена задача пошуку оптимальних параметрів джерел збурення температурного поля у технічній системі за відповідними обмеженнями. Врахувавши технічні характеристики засобів, які забезпечують процес термічної дії на матеріал, та особливості технологічного процесу, задані відповідні обмеження на температурне поле та його компоненти. Перевірка обмежень на температурне поле вимагає здійснення багаторазового його розрахунку, що зменшує термічне пошкодження частин матеріалу. Для автоматизації функції мети можливо використати сіткові процесори, які завдяки застосуванню спеціалізованих функціональних блоків практично миттєво розв'язують величезну кількість крайових задач на комп'ютерах. Завдяки перебору розв'язків крайових задач це дозволить знайти оптимальні значення технічних параметрів, а отже, підвищити точність модельованого процесу.

Дослідження цієї статті відноситься до розділу математичного моделювання та оптимізації систем з розподіленими параметрами. Для математичного моделювання зазначених систем використовують крайові задачі диференціальних рівнянь з частинними похідними. Авторами наведені прикладні оптимізаційні математичні моделі контролю розподілу температурного поля та термонапружень в матеріалі, мінімізації його пошкоджених частин. Остання з них заснована на диференціальному критерії оцінки температури опромінення і може бути використана для оптимізації багатьох технічних, біотехнологічних і економічних систем. Детальний аналіз специфічних особливостей прикладних оптимізаційних математичних моделей дозволить збільшити точність розробки чисельних методів і програмно-апаратних засобів для розрахунку і оптимізації параметрів модельованих систем.

Ключові слова: математичні моделі, технічна система, сіткові процесори, диференціальні рівняння.

Dmytro LEVKIN

State Biotechnological University, Kharkiv

Oksana ZHERNOVNYKOVA

H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Kharkiv

MATHEMATICAL MODELS' DEVELOPMENT OF APPLIED TASKS OF GEOMETRIC DESIGN OF TECHNICAL SYSTEMS

This article examines the issues of developing mathematical models for optimizing the parameters of the thermal action on the technical systems. The authors set the task of determining the optimal parameters of sources of temperature field disturbance in the technical system under the appropriate restrictions. Considering the technical characteristics of the means that ensure the process of thermal action on the material, and the peculiarities of the technological process, appropriate restrictions on the temperature field and its components are set. Checking the limits of the temperature field requires multiple calculations, which reduce thermal damage to parts of the material. To automate the objective function, it is possible to use grid processors, which, due to the use of specialized functional blocks, solve a huge number of boundary problems with computers almost instantly. Because to the selection of solutions of boundary value problems, this will allow to find optimal values of technical parameters, and therefore to increase the accuracy of the simulated process.

The research of this article refers to the section on mathematical modeling and optimization of systems with distributed parameters. For mathematical modeling of these systems, boundary value problems of differential equations with partial derivatives are used. The authors present applied optimization mathematical models for controlling the distribution of the temperature field and thermal stresses in the material, minimizing its damaged parts. The last them is based on the differential criterion for evaluating the temperature of irradiation and can be used to optimize many technical, biotechnological and economic systems. A detailed analysis of the specific features of applied optimization mathematical models will allow to increase the accuracy of the development of numerical methods and hardware and software tools for calculating and optimizing the parameters of simulated systems.

Keywords: mathematical models, technical system, grid processors, differential equations.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Питанням підвищення якості технологічного процесу термічної обробки матеріалів присвячена значна кількість наукових праць, проте здебільшого вони мають більш частковий характер. Для збільшення точності оптимізації технологічного процесу потрібно запропонувати більш загальний підхід до раціонального використання ресурсів модельованих систем. Треба звернути увагу, що для моделювання їх стану часто використовують багатofакторні моделі спеціального виду, без узагальнення значень вхідних параметрів яких досить складно здійснити розрахунок функції мети. Врахувавши це, для доказу коректності розрахункових і прикладних оптимізаційних математичних моделей, автори пропонують використати спеціальні методи з теорії псевдодиференціальних рівнянь.

Для підвищення точності реалізації задач розрахунку і оптимізації параметрів модельованих технічних систем потрібно збільшити точність формалізації основної задачі пошуку оптимальних параметрів термічної дії на матеріал. Окрім цього, на думку авторів статті, потрібно реалізувати більшу кількість прикладних оптимізаційних математичних моделей, які відповідають за оптимізацію певної ділянки технологічного процесу.

Аналіз останніх досліджень

Важливим аспектам оптимізації та забезпечення контролю за використанням технічних ресурсів складних систем присвячені результати наукових досліджень [1–9]. Фундаментальна робота [1] містить загальну теорію розрахунку і оптимізації систем з розподіленими параметрами. В публікації [2] наведені методи для прогнозування зносостійкості деталей. Авторами статті [3] запропонований теоретико-фізичний підхід до інформаційного моніторингу технічного стану сільськогосподарської техніки, дано визначення основних понять надійності транспортних систем в специфічних умовах. В роботі [4] розроблені методологічні засади розв'язання проблеми забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем. Досліджені особливості побудови коректних крайових задач для диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами в статті [5]. Деякі аспекти вирішення проблеми забезпечення ефективного управління діяльністю сільськогосподарських підприємств в ринкових умовах наведені в публікаціях [6–8]. Відзначимо результати публікації [9], де розроблена антикризова стратегія управління підприємствами в умовах посилення конкуренції та глобалізації.

Формулювання цілей статті

Мета роботи – запропонувати прикладні оптимізаційні математичні моделі процесу термічної дії на матеріал.

Виклад основного матеріалу

Обмеження на характер розподілу температурного поля в області матеріалу:

$$G_i T(x, y, z, t, u, E, s(t), v(t), Q(x, y, z, t), S) \Big|_{\Omega^*} \leq T_i^*, \quad (1)$$

де G_i – певний оператор;

$T(x, y, z, t, z^*)$ – температурне поле;

$(x, y, z) \in \Omega^*$ – область матеріалу;

t_0 – початок термічної дії;

t^* – кінець термічної дії;

T_i^* – припустимі значення температурного поля;

u – інтенсивність дії джерела;

E – енергія дії;

$s(t)$ – траєкторія руху джерела;

$v(t)$ – швидкість руху джерела;

$Q(x, y, z, t)$ – густина дії;

S – геометричні розміри джерела.

Позначимо через $z^* = (x, y, z, t, u, E, s(t), v(t), Q(x, y, z, t), S)$ вектор параметрів термічної дії на матеріал.

Компоненти температурного поля вдовольняють обмеженням в межах їх припустимих значень. Врахувавши вказані обмеження, розглянемо деякі прикладні оптимізаційні математичні моделі процесу термічної дії на матеріал.

Математична модель 1. Потрібно мінімізувати максимальне значення температурного поля в межах області матеріалу:

$$\min_{z^* \in Z} \max_{\substack{(x_i, y_i, z_i) \in \Omega_i \\ i=1, N \\ t \in [t_0, t^*]}} T_i(x_i, y_i, z_i, t, z^*), \quad (2)$$

де $T_i(x_i, y_i, z_i, t, z^*)$ – температурне поле в контрольованих точках області матеріалу;

t – час термічної дії на матеріал, що коливається в межах від t_0 до t^* ;

z^* – вектор параметрів термічної дії на матеріал.

Інші позначення залишаються такими ж, як і в обмеженнях (1).

Математична модель 2. Необхідно мінімізувати число пошкоджених через термічну обробку частин матеріалу:

$$\sum_{i=1}^N T_i(x_i, y_i, z_i, t, z^*) \rightarrow \max_{\substack{(x_i, y_i, z_i) \in \Omega^* \\ t \in [t_0, t^*] \\ i=1, N}}, \quad (3)$$

$$\text{де } T_i = \begin{cases} 0, & \text{якщо } T_i > T^*, \\ 1, & \text{якщо } T_i \leq T^*; \end{cases}$$

T_i – значення температурного поля в області точок матеріалу;

T^* – припустиме значення температурного поля.

Математична модель 3. Необхідно забезпечити контроль за розподілом температурного поля:

$$\min_{z^* \in Z} \left| \max_{\substack{(x,y,z) \in N_1 \\ t \in [t_0, t^*]}} T(x,y,z,t,z^*) - \max_{\substack{(x,y,z) \in N_2 \\ t \in [t_0, t^*]}} T(x,y,z,t,z^*) \right|, \quad (4)$$

де N_1, N_2 – області матеріалу;

$T(x,y,z,t,z^*)$ – температурне поле;

t_0 і t^* – моменти часу t ;

z^* – вектор параметрів термічної дії.

Математична модель 4. Необхідно забезпечити контроль за розподілом термонапружень в матеріалі:

$$\min_{z^* \in Z} \left(\max_{\substack{(x,y,z) \in N_1 \\ t \in [t_0, t^*]}} T(x,y,z,t,z^*) - \min_{\substack{(x,y,z) \in N_2 \\ t \in [t_0, t^*]}} T(x,y,z,t,z^*) \right), \quad (5)$$

де $T(x,y,z,t,z^*)$ – температурне поле в областях N_1 і N_2 матеріалу.

Інші позначення такі ж самі, як в попередніх математичних моделях.

Математична модель 5. Необхідно мінімізувати ухилення температурного поля в матеріалі від свого припустимого значення:

$$\min_{z^* \in Z} \max_{\substack{(x,y,z) \in L \\ t \in [t_0, t^*]}} \left(\int_L (T(x,y,z,t,z^*) - T^*(x,y,z,t))^2 dL \right)^{1/2}, \quad (6)$$

де $T(x,y,z,t,z^*)$ – температурне поле;

(x,y,z) – точки на гладкій кривій L ;

$T^*(x,y,z,t)$ – припустиме значення температурного поля.

z^* – параметри термічної дії.

Для результатів цієї статті важливі є наукові здобутки, отримані в публікаціях [10–12], де розв'язані прикладні задачі оптимізації параметрів біотехнологічних систем і трибосистем..

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У статті наведені математичні моделі прикладних задач оптимізації параметрів технологічного процесу термічної дії на матеріал, а саме: математична модель мінімізації максимального значення температурного поля, мінімізації пошкоджених через термічну обробку частин матеріалу, контролю термонапружень та температурного поля в матеріалі. Збільшення точності реалізації вище згаданих математичних моделей дозволить зменшити ризики витрат піддослідного матеріалу під час забезпечення технологічного процесу. Використовуючи результати здійснених досліджень для проектування складних систем, можливо підвищити функціональні можливості технічних засобів здійснення розрахунку, а також забезпечення автоматизації функції мети і її параметрів.

Література

1. Стоян Ю.Г. Оптимизация технических систем с источниками физических полей / Ю.Г. Стоян, В.П. Путятин. – К. : Наук. думка, 1988. – С. 44–48.
2. Vojtov V.A. Assessment of the quality factor of tribosystems and relationship with tribological characteristics / V.A. Vojtov, A.V. Voitov // Problems of Tribology. – 2020. – Vol. 25. No. 4/98. – P. 20–26. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-98-4-20-26>
3. Аулін В.В. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків, О.І. Мартиненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків : ХНТУСГ, 2015. – Вип. 158. – С. 252–262.
4. Аулін В.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем / В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко. – Кропивницький : ТОВ «КОД», 2017. – 369 с.
5. Fardigola L.V. Transformation Operators in the Problems of Controllability for the Degenerate Wave Equation with Variable Coefficients / L.V. Fardigola. // Ukrainian Mathematical Journal. – 2009. – Vol. 70. № 8. –

P. 1300–1318. <https://doi.org/10.1007/s11253-018-1570-4>

6. Tytarchuk I. Innovations financing in the agricultural sector / I. Tytarchuk, Y. Nehoda, I. Shalyhina, N. Bazhanova, O. Horbachova, L. Rubina // *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*. – 2020. – Vol. 11. Issue. 4. – P. 246–255.

7. Levkina R. Management of innovative marketing techniques as an effective business tool / R. Levkina, A. Petrenko // *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. – 2019. – Vol. 5. No. 1. – P. 37–47.

8. Замятіна Н.В. Місце контролінгу у системі управління сучасним підприємством / Н.В. Замятіна // *Економіка і суспільство*. – Мукачів, 2016. – Вип. 7. – С. 324–328.

9. Гринчишин Я.М. Стратегічний підхід до антикризового управління підприємством / Я.М. Гринчишин // *Вчені записки Таврійського Національного Університету імені В.І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. – Київ, 2021. – Т. 32(72). № 1. – С. 38–41. <https://doi.org/10.32838/2523-4803/71-1-6>

10. Левкін Д.А. Чисельні методи і математичні моделі оптимізації параметрів біотехнологічних процесів / Д.А. Левкін // *Вчені записки Таврійського Національного Університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. – Київ, 2022. – Т. 33(72). № 1. – С. 128–132. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/21>

11. Palii A.P. [Assessment of cow lactation and milk parameters when applying various milking equipment](#) / A.P. Palii, Yu.M. Handola, I.O. Shevchenko, A.O. Stotskyi, O.G. Stotskyi, A.I. Sereda, D.A. Levkin, L.G. Ulko, O.I. Shkromada, A.P. Paliy // *Ukrainian journal of Ecology*. – Vol. 10. Issue. 4. – P. 195–201. doi: 10_15421/2020_188

12. Kravtsov A. Development of a rheological model of stress relaxation in the structure of an oil film on the friction surface with fullerene additives / A. Kravtsov, A. Suska, A. Biekirov, D. Levkin // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2021. – Vol. 3. No. 7 (111): Applied mechanics. – P. 93–99. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235468>

References

1. Stoyan Yu.G. Optimizaciya tekhnicheskikh sistem s istochnikami fizicheskikh poley. / Yu.G. Stoyan, V.P. Putyatin. – Kyiv: Nauk. dumka, 1988. – Pp. 44–48.

2. Vojtov V.A. Assessment of the quality factor of tribosystems and relationship with tribological characteristics. / V.A. Vojtov, A.V. Voitov. // *Problems of Tribology*. – 2020. – Vol. 25. No. 4/98. – Pp. 20–26. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-98-4-20-26>

3. Aulin V.V. Teoretyko-fizychnyi pidkhd do diahnostychnoi informatsii pro tekhnichnyi stan agregativ mobilnoi silskogospodarskoi tekhniki. / V.V. Aulin, S.V. Lysenko, D.V. Holub, A.V. Hryniv, O.I. Martynenko. // *Visnyk Kharkivskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka*. – Kharkiv: KhNTUSG, 2015. – Vyp. 158. – Pp. 252–262.

4. Aulin V.V. Metodolohichni i teoretychni osnovy zabezpechennia ta pidvyshchennia nadiinosti funktsionuvannia avtomobilnykh transportnykh system. / V.V. Aulin, D.V. Holub, A.V. Hryniv, S.V. Lysenko. – Kropyvnytskyi: TOV «KOD», 2017. – 369 p.

5. Fardigola L.V. Transformation Operators in the Problems of Controllability for the Degenerate Wave Equation with Variable Coefficients. / L.V. Fardigola. // *Ukrainian Mathematical Journal*. – 2009. – Vol. 70. No. 8. – Pp. 1300–1318. <https://doi.org/10.1007/s11253-018-1570-4>

6. Tytarchuk I. Innovations financing in the agricultural sector. / I. Tytarchuk, Y. Negoda, I. Shalyhina, N. Bazhanova, O. Horbachova, L. Rybina. // *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*. – 2020. – Vol. 11. Issue. 4. – Pp. 246–255.

7. Levkina R. Management of innovative marketing techniques as an effective business tool. / R. Levkina, A. Petrenko. // *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. – 2019. – Vol. 5. No. 1. – Pp. 37–47.

8. Zamiatina N.V. Mistse kontrolyngu u systemi upravlinnia suchasnym pidpriemstvom. / Zamiatina N.V. // *Ekonomika i suspilstvo*. – Mukachiv, 2016. – Vyp. 7. – Pp. 324–328.

9. Grynchysyn Ya.M. Stratehichnyi pidkhd do antykrizovovogo upravlinnia pidpriemstvom. / Grynchysyn Ya.M. // *Vcheni zapysky Tavriiskogo Natsionalnogo Universytetu imeni V.I. Vernadskogo. Seriya: «Ekonomika i upravlinnia»*. – Kyiv, 2021. – Vol.32(72). No.1. – Pp. 38–41. <https://doi.org/10.32838/2523-4803/71-1-6>

10. Levkin D.A. Chyselni metody i matematychni modeli optymizatsii parametriv biotekhnolohichnykh protsesiv. / Levkin D.A. // *Vcheni zapysky Tavriiskogo Natsionalnogo Universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: «Tekhnichni nauky»*. – Kyiv, 2022. – Vol. 33(72). No. 1. Ch. 1. – Pp. 128–132. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/21>

11. Palii A.P. Assessment of cow lactation and milk parameters when applying various milking equipment. / A.P. Palii, Yu. M. Handola, I.O. Shevchenko, A.O. Stotskyi, O.G. Stotskyi, A.I. Sereda, D.A. Levkin, L.G. Ulko, O.I. Shkromada, A.P. Paliy. // *Ukrainian journal of Ecology*. – Vol. 10. Issue. 4. – Pp. 195–201. doi: 10_15421/2020_188

12. Kravtsov A. Development of a rheological model of stress relaxation in the structure of an oil film on the friction surface with fullerene additives. / A. Kravtsov, A. Suska, A. Biekirov, D. Levkin. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2021. – Vol. 3. No. 7 (111): Applied mechanics. – Pp. 93–99. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235468>

Рецензія/Peer review : 21.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

СТРЕЛЬБИЦКИЙ В. В.

Одесский национальный морской университет

<https://orcid.org/0000-0001-7027-9498>e-mail: vict141174@gmail.com

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ АЛЬБАТРОС

В роботі проведено аналіз відмов механізмів, які виникають у процесі експлуатації портальних кранів з понаднормовими термінами експлуатації, за отриманими даними розраховано коефіцієнти відмов та відновлення. Аналіз отриманих результатів показав, що найбільше число відмов спостерігається у механізмах підйому та повороту, найменше – у механізмах підйому вантажу та переміщення кранів. Значна частка відмов та часу на відновлення припадає на редуктори механізмів повороту та зміни вильоту, а також - котки механізму повороту.

Ключові слова: портальний кран, механізм, відмова, надійність.

Victor STRELBITSKIY

Odessa National Maritime University, Odessa

EVALUATION OF THE RELIABILITY OF ALBATROSS GANTRY CRANE MECHANISMS

Portal cranes are widely used to perform transshipment operations in sea and river areas. Since they are the main link in the technological process, so the performance of Port lines directly depends on their reliable and continuous operation.

However, today in the river and sea ports of Ukraine, more than 88% of cranes have fulfilled the standard service life and continue to be operated.

Since overtime and long-term operation of metal structures of overhead cranes in the mode of intensive cyclic loading leads to the formation of fatigue defects and subsequent failure of components and accidents. Therefore, ensuring safe and reliable operation is one of the main tasks in the design, modernization and operation of cranes.

The analysis of works on the reliability of complex technical systems indicates that the issue of reliability of gantry crane mechanisms, which have been soldered for more than 35 years in seaports, is not sufficiently studied.

The purpose of the work is: analysis of failures of mechanisms that occur during the operation of gantry cranes with overtime service life, based on the obtained data, failure and recovery coefficients are calculated. Operating time affects the mechanical characteristics of materials ambiguously.

The aim of the study is to analyze the failure statistics of gantry crane mechanisms with overtime periods to determine, determine the failure and recovery rates.

The 30 identical Albatross cranes with a lifting capacity of 16 tons were selected for research, which operate in Grab mode and operate in seaports. Cranes are divided into 3 groups by year of production. The average annual capacity of cranes was 520 thousand tons, according to the warehouse-ship option.

From the obtained data, the largest number of failures is observed in the lifting and turning mechanisms, the smallest – in the load lifting mechanism. Thus, the analysis of the results obtained showed that the largest number of failures is observed in the mechanisms of lifting and turning, the smallest – in the mechanisms of lifting the load and moving the crane.

Keywords: portal crane, mechanism, failure, reliability.

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

Портальні крани широко використовують для виконання перевантажувальних робіт у морських та річкових [1-4]. Так як вони є основною ланкою технологічного процесу, тому від їх надійної та безперервної роботи залежить продуктивність портових ліній.

Однак, на сьогодні у річкових та морських портах України більше 88% кранів відпрацювали нормативний термін служби та продовжують експлуатуватися [1-4].

Слід відмітити, що понаднормова та тривала експлуатація портальних кранів в режимі інтенсивного циклічного навантаження призводить до утворення втомних дефектів та подальшої відмови вузлів та аварій [2-6]. Тому, забезпечення безпечної та надійної роботи є одним з головних завдань при проектуванні, модернізації та експлуатації кранів.

Аналіз досліджень та публікацій

Аналіз робіт з надійності складних технічних систем показав що:

- 1) питання надійності механізмів портальних кранів, які пропрацювали більше 30 років у морських портах вивчені недостатньо [5-11].;
- 2) напруження впливають неоднозначно на механічні характеристики матеріалів [1-4].

Формулювання цілей статті

Метою дослідження є аналіз статистики відмов механізмів портальних кранів з понаднормовими термінами експлуатації визначити, визначення показників надійності.

Виклад основного матеріалу

Для досліджень було обрано 30 ідентичних кранів Альбатрос, вантажопідйомністю 16 тон, які працюють у грейферному режимі та експлуатують у морських портах.

Крани розподілені на 3 групи за роками випуску:

- 1) 1978-1980 р.р;
- 2) 1980...1982 р.р ;
- 3) 1982...1984 р.р.

Середній коефіцієнт використання кранів у навігацію склав 0,49, річна продуктивність - 520 тисяч тон, за варіантом склад - судно.

Для статистичного аналізу використано інформацію яка міститься у відповідних журналах обліку, технічного обслуговування та ремонту відповідних кранів з 2014 по 2020 роки.

Оцінку надійності кранів проводили за комплексним показником - коефіцієнти готовності, який розраховували для кожної групи (див. рис.1).

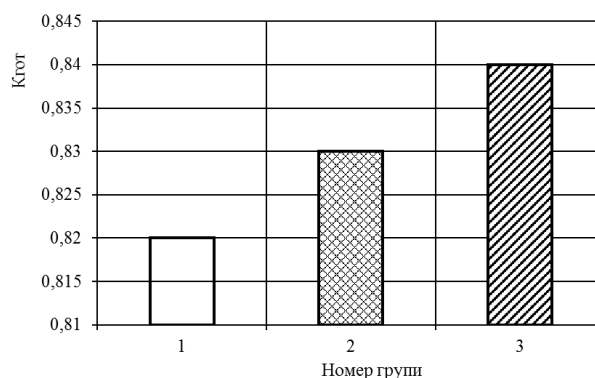


Рис. 1. Коефіцієнти готовності для 3-х груп кранів

Отримане значення середнього коефіцієнту готовності кранів, складає 0,83, перевищує граничне значення 0,82 [5,6, 9].

На рис.2 наведено розподіл відмов та час відновлення вузлів для 3-х груп кранів.

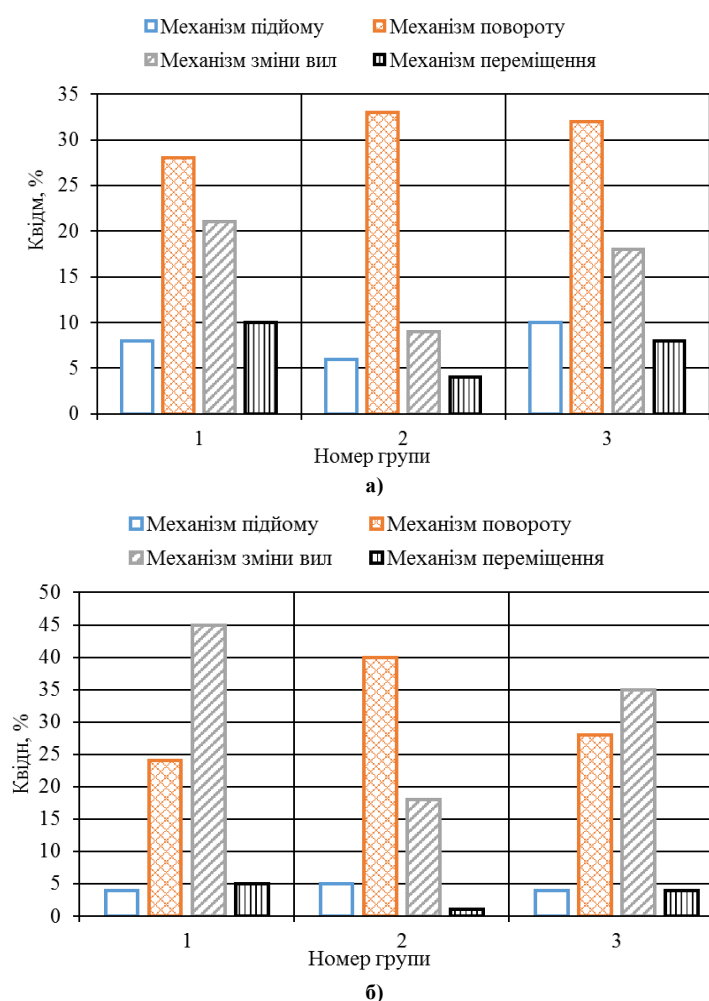


Рис. 2. Розподіл коефіцієнтів відмов Kвідм (а) та часу відновлення Kвідн (б) вузлів для 3-х груп кранів

Аналіз отриманих статистичних даних показав, що:

- 1) найбільша кількість відмов спостерігалась у механізмі повороту та металоконструкції стріли крана;
 - 2) найбільш небезпечними з виявлених дефектів були тріщини у стріловій системі та механізмах повороту;
 - 3) майже у всіх кранах спостерігались відмови болтових з'єднань стрілових пристроїв з подальшою їх заміною;
 - 4) значна частка відмов та часу на відновлення припадає на редуктори механізмів повороту та зміни вильоту, а також - котки механізму повороту.
 - 5) майже у всіх кранів було виявлено знос зубців рейок механізму вильоту.
- У 2 кранах було виявлено критичні дефекти у вигляді вибоїни зубців та тріщини у рейці механізму вильоту стріли, які не вимагають її заміни.

Виявлений знос, вибоїни та відколи зубців рейки механізму зміни вильоту стріли виникли внаслідок порушення умов експлуатації та технології їх ремонту.

З наведеного на рис.2 розподілу видно, що найбільше число відмов спостерігається у механізмах підйому та повороту, найменше – у механізмах підйому вантажу та переміщення крану.

Виявлені тріщини у металевих конструкціях механізмів виникають внаслідок порушення умов експлуатації, а також вібраційних навантажень які виникають у процесі роботи та призводяться до зміни напружено-деформованого стану елементів крана [1-4].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Таким чином аналіз отриманих результатів показав, що найбільше число відмов спостерігається у механізмах підйому та повороту, найменше – у механізмах підйому вантажу та переміщення кранів. Найбільш небезпечними з виявлених дефектів були тріщини у стріловій системі та механізмах повороту, які виникають внаслідок порушення умов експлуатації, а також вібраційних навантажень та призводяться до відмови елементів крана. Виявлений знос, вибоїни та відколи зубців рейки механізму зміни вильоту стріли виникли внаслідок порушення умов експлуатації та технології їх ремонту. Левова частка відмов та часу на відновлення припадає на редуктори механізмів повороту та зміни вильоту, а також - котки механізму повороту.

Література

1. Григоров О. В., Петренко Н. О. Вантажопідйомні машини: Навч. посібник. — Харків: НТУ «ХП», 2005. — 304 с.
2. Стрельбіцький В.В. Експериментальне дослідження впливу напруцювання та асиметрії циклу на тріщиностійкість сталей порталних кранів / В.В. Стрельбіцький, О.О. Немчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 1. – С. 245–248.
3. Стрельбіцький В.В. Експериментальне дослідження впливу напруцювання на тріщиностійкість сталей мостових кранів/ В.В. Стрельбіцький // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 4. – С. 138–142.
4. Немчук О.О. Експериментальне дослідження впливу напруцювання на тріщиностійкість сталей порталних кранів / О.О. Немчук, В.В. Стрельбіцький // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 1. – С. 17–20.
5. Брауде В.И., Семенов Л.Н. Надежность подъемно-транспортных машин. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. - 183 с.
6. Зубко Н.Ф., Постан М.Я., Корниец Т.Е. Проблема определения эксплуатационной надежности портовых перегрузочных комплексов // Вісник ОДМУ, 2001. – № 6. – С.81-89.
7. Qin, Li & Zhang, Bin & Li, Xinren & Huang, Zheng-qiu.. The Application Research on Safety performance Evaluation of Portal Crane based on Reliability Evaluation and risk Assessment. E3S Web of Conferences. Volume 257. - 2021. - pp.1-4.
8. Huang Hai. Study on the Safety Performance Assessment Method for Metal Structures of PortCranes: Doctoral Dissertation; 2008.
9. A Report of the Crane Unit of the Division of Occupational Safety and Health. Philip Yow, 2000.
10. Luo Shengnan. Study on the Safety Assessment Method of Portal Cranes. 2015.
11. Pan Yang, Liang Chengji and Zheng Huiqiang. Analysis of Operational Safety of Quayside Container Gantry Cranes Based on Human Factors. China Safety Science Journal. 2012, 22(10): 65.

References

1. Hryhorov O. V., Petrenko N. O. Vantazhopydiomni mashyny: Navch. posibnyk. — Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. — 304 s.
2. Strelbitskiy V.V. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu napratsiuvannia ta asymetrii tsyklu na trishchynostiikist stalei portalnykh kraniv / V.V. Strelbitskiy, O.O. Nemchuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2020. – № 1. – S. 245–248.
3. Strelbitskiy V.V. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu napratsiuvannia na trishchynostiikist stalei mostovykh kraniv/ V.V. Strelbitskiy // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2020. – № 4. – S. 138–142.

4. 1. Немчук О.О. Експериментальне дослідження впливу напрацювання на тріщиностійкість сталей порталних кранів / О.О. Немчук, В.В. Стрельбицький // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 1. – С. 17–20.
5. Braude V.I., Semenov L.N. Nadezhnost podemno-transportnyh mashin. - L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1986. - 183 s.
6. Зубко Н.Ф., Постан М.Я., Корниец Т.Е. Проблема определения эксплуатационной надежности портовых перегрузочных комплексов// Вісник ОДМУ, 2001.– № 6.–С.81-89/
7. Qin, Li & Zhang, Bin & Li, Xinren & Huang, Zheng-qiu.. The Application Research on Safety performance Evaluation of Portal Crane based on Reliability Evaluation and risk Assessment. E3S Web of Conferences. Volume 257. - 2021. - pp.1-4.
8. Huang Hai. Study on the Safety Performance Assessment Method for Metal Structures of PortCranes: Doctoral Dissertation; 2008.
9. A Report of the Crane Unit of the Division of Occupational Safety and Health. Philip Yow, 2000.
10. Luo Shengnan. Study on the Safety Assessment Method of Portal Cranes. 2015.
11. Pan Yang, Liang Chengji and Zheng Huiqiang. Analysis of Operational Safety of Quayside Container Gantry Cranes Based on Human Factors. China Safety Science Journal. 2012, 22(10): 65.

Рецензія/Peer review : 27.07.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

МЕЛЬНИК А. М.

Західноукраїнський національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7799-9877>e-mail: melnyk.andriy@gmail.com

АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ ІНТЕРВАЛЬНОГО ТА ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ

В роботі обґрунтовано використання онтологічного підходу як ефективного інструменту управління процесами побудови математичних моделей на основі інтервальних даних та використання цих моделей для прикладних задач. Використання онтологічної моделі дало можливість формалізувати процес отримання, зберігання та використання знань, які отримано в процесі математичного моделювання. У статті також представлено особливості побудови архітектури програмного забезпечення для математичного моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу. Описано технологію створення програмного забезпечення на основі розробленої онтологічної надбудови для математичного моделювання з використанням інтервальних даних для різних об'єктів, а також різних форм реалізації інтерфейсу користувача. Наведено ряд діаграм, які ілюструють особливості використання онтологічного підходу на основі інтервальних даних та описано особливості його інтерпретації в прикладних сферах, зокрема, в задачах екологічного моніторингу.

Ключові слова: архітектура програмного забезпечення, математичне моделювання, інтервальний аналіз, онтологічний підхід.

Andriy MELNYK
West Ukrainian National University

SOFTWARE ARCHITECTURE FOR MATHEMATICAL MODELING BASED ON INTERVAL AND ONTOLOGICAL APPROACH

The paper substantiates the use of the ontological approach as an effective tool for managing the processes of building mathematical models based on interval data and using these models for applied problems. The use of the ontological model made it possible to formalize the process of obtaining, storing and using knowledge obtained in the process of mathematical modeling. The article also presents the features of building a software architecture for mathematical modeling based on interval analysis and an ontological approach. The technology for creating software based on the developed ontological add-on for mathematical modeling using interval data for various objects, as well as various forms of user interface implementation, is described. A number of diagrams illustrating the peculiarities of using the ontological approach based on interval data are presented and the peculiarities of its interpretation in applied fields, in particular, in the tasks of environmental monitoring, are described.

Keywords: software architecture, mathematical modeling, interval analysis, ontological approach.

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

Математичні знання – це термін, який часто використовується для опису різних складових математичної науки, таких як теореми, леми, аксіоми, доведення тощо [1]. Під терміном «знання з математичного моделювання» розуміємо означення величезної кількості знань, які формалізовані як в рамках конкретної математичної моделі, так і в процесі її побудови, а також пов'язані з ними процедури практичного використання. Порівняно з іншими формами знань, такими як правила, дерева розв'язків, математичні знання є більш абстрактними та більш структурованими [2–4].

В загальному випадку онтологічний підхід до математичного моделювання стосується використанням онтології, оскільки він будується на термінах математичного моделювання та описав взаємозв'язків між основними процесами його перебігу [4, 5]. Загальний онтологічний підхід до математичного моделювання з прикладної точки зору не дозволяє здійснювати управління процесами побудови математичних моделей, оскільки за його допомогою можна лише описати область математичного моделювання.

Виходячи з прикладної точки зору, то більшість основних форм математичних знань або вбудовані у конкретних програмних засобах, таких як моделі роботи агрегату в імітаційному програмному забезпеченні, або мають бути формально інтерпретовані у більш загальний математичний інструмент, дотримуючись відповідних синтаксичних правил. Більшість такого типу знань стосується конкретних завдань моделювання і чітко реалізовані за допомогою відповідних процедурних описів, а не декларативних представлень на відміну від філософського бачення математичного моделювання [5].

Разом з тим застосування відомого інструментарію реалізованих програмних засобів недостатньо як для дослідників, так і спеціалістів-практиків, оскільки сама онтологія процесу прихована в процедурах, модулях конкретного програмного продукту. Така функціональна специфіка суттєво звужує можливості практичного використання такого інструментарію дослідниками та практиками [6].

Виходячи із наведених вище припущень, виникає актуальна науково-практична задача побудови та реалізації онтологічних моделей для конкретного розділу математичного моделювання, його окремих підходів. Застосування такого типу онтологічних моделей дозволить значно розширити можливості використання існуючого інструментарію.

Одним із напрямків математичного моделювання є індуктивний підхід, який ґрунтується на самоорганізованому процесі еволюційного переходу від первинних даних до явних математичних моделей, що відображають ті закономірності функціонування модельованих об'єктів і систем, які неявно містяться в наявних експериментальних, дослідних, статистичних даних [7–9].

Важливою особливістю при реалізації індуктивного підходу є природа невизначеності інформаційних масивів даних, оскільки він ґрунтується на методах аналізу самих даних. В ряді робіт [10] наведено онтологічний підхід для побудови математичних моделей в межах індуктивного підходу на основі методів групового урахування аргументів. В рамках запропонованого підходу визначено ключові параметри для основних складових процесу моделювання, які обумовлюють можливість узагальнення та доцільність конструювання багатофункціональних програмних модулів при розробці комп'ютерних засобів індуктивного моделювання на основі МГУА [8, 10]. Оскільки запропонований підхід має складну структуру, яка інтерпретована з використанням Protege [11, 12] та не містить прикладних програмно-інтерпретованих рішень, то його практичне використання в інших підходах до математичного моделювання є не достатньо доцільним. Використання такого підходу вимагає великих часових витрат на формалізацію самої предметної області та виходячи із складності її представлення в рамках системи Protege не сприятиме підтримці серед розробників відповідних прикладних програмних рішень [12].

Іншим напрямком в математичному моделюванні на основі індуктивного підходу є методи математичного моделювання на основі інтервальних даних [13–15]. Особливість цих методів полягає в множинному представленні оцінок параметрів моделі «вхід-вихід», побудованої за результатами експерименту, в якому вихідні змінні отримані у інтервальному вигляді [16].

В результаті застосування методів інтервального аналізу, замість однієї моделі «вхід-вихід», отримують коридор (множину) рівнозначних інтервальних моделей статичної системи. Властивості отриманих моделей залежать від обраного методу множинного оцінювання параметрів. Переважно множини оцінок параметрів шукають у вигляді многогранника, багатовимірного еліпсоїда чи прямокутного паралелепіпеда, який задає інтервали значень параметрів [16].

Враховуючи, що методи моделювання систем, побудовані на аналізі інтервальних даних, вимагають мінімальної кількості інформації про досліджувану систему, їх застосування суттєво розширює клас досліджуваних систем [15, 16].

Разом з тим, ці методи для використання як дослідниками, так і користувачами-практиками є значно обмеженими через відсутність розробленого онтологічного опису для даного напрямку математичного моделювання, який давав би можливість розширення сфери застосування існуючих інтервальних моделей для конкретної предметної галузі і для розробки нових моделей. Прикладом в цьому випадку може слугувати сфера побудови математичних моделей для медицини чи екологічного моніторингу, зокрема опис математичних моделей на основі інтервальних даних для процесів забруднення атмосфери шкідливими викидами автотранспорту [16]. Багаторічний досвід авторів цієї праці у створенні та застосуванні такого типу моделей показав, що у випадку зміни стану середовища, чи умов отримання інтервальних даних, більшість побудованих інтервальних моделей втрачають точність або стають взагалі неадекватними. Застосування онтологічної «надбудови» до процесу розробки та використання моделей суттєво розширює можливості моделювання характеристик згаданих систем та підвищує точність моделі у конкретних випадках. Простіше кажучи, онтологічна модель як «надбудова» може використовувати функції «перемикача» для обрання найкращої моделі з репозиторію, залежно від зміни умов середовища моделювання.

Потреба в автоматизованому, систематичному, багаторазовому використанні математичних моделей, як середовища отримання, накопичення та багаторазового використання знань цілком виправдана в контексті великої кількості інформації про процес та продукцію знань, що генеруються та зберігаються.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є проектування та програмна реалізація архітектури програмного забезпечення для математичного моделювання на основі інтервального та онтологічного підходу.

Виклад основного матеріалу

У запропонованому в роботі [17] онтологічному підході для представлення понять, методів та засобів математичного моделювання на основі інтервальних даних, а саме декларативної та процедурної частин, математичні знання відокремлені. Декларативна частина складається з інформації, яка необхідна для побудови моделі, інформації, отриманої з моделі та відповідних математичних виразів, що представляють модель. Процедурна частина складається з деталізованих частин моделі, відповідних методів та алгоритмів їх реалізації, процедур ініціалізації змінних та їх інтерпретації. Серед інструментів, які використовують для побудови та використання онтології, найчастіше використовуються Protege та OntoStudio [12]. Ці засоби завдяки надійності, високій частоті використання, масштабованості та розширюваності можуть також використовуватися в процесі побудови відповідних онтологічних моделей для представлення та управління знаннями, які накопичують в процесі математичного моделювання [1, 17]. Проте, зазначені засоби складно інтегрувати в програмно-апаратні комплекси, які, зокрема часто використовують в медицині, і де швидкість

та якість прийняття управлінських рішень є першочерговим завданням. Тому в якості інструментарію для побудови онтології в даній роботі використовуються:

- засоби сучасних реляційних баз даних для зберігання інформації;
- алгебра кортежів для формалізованого представлення знань та подальшої їх програмної інтерпретації незалежно від вибраних програмних платформ для їх реалізації, а також з метою реалізації ефективних методів управління накопиченими знаннями;
- Python та Java в якості мов програмування для відповідної інтерпретації запропонованих методів та засобів.

Процедурна частина онтологічного підходу складається з механізму побудови на основі методів аналізу даних відношень, які аналізують рівняння в онтологічній інтерпретації математичних моделей та переводять їх у вирази, які можна інтерпретувати в інші зовнішні програмні середовища. Загальна схема такого підходу представлена на рисунку 1.

Підсистема управління процесами вибору моделей створює оператори для ініціалізації параметрів моделі з відповідними значеннями, створює асоціації між змінними індексами та величини, для яких він позначається, ініціалізує універсальні константи, збирає фактичні команди розв'язку моделі та знаходить відповідний розв'язок множини рівнянь. Такий програмно-інтерпретований онтологічний надає нам багато корисних функцій, включаючи можливість символічної обробки, яка безпосередньо обробляє рівняння у різних форматах та розширюється можливістю сучасних мов програмування, таких як Java.

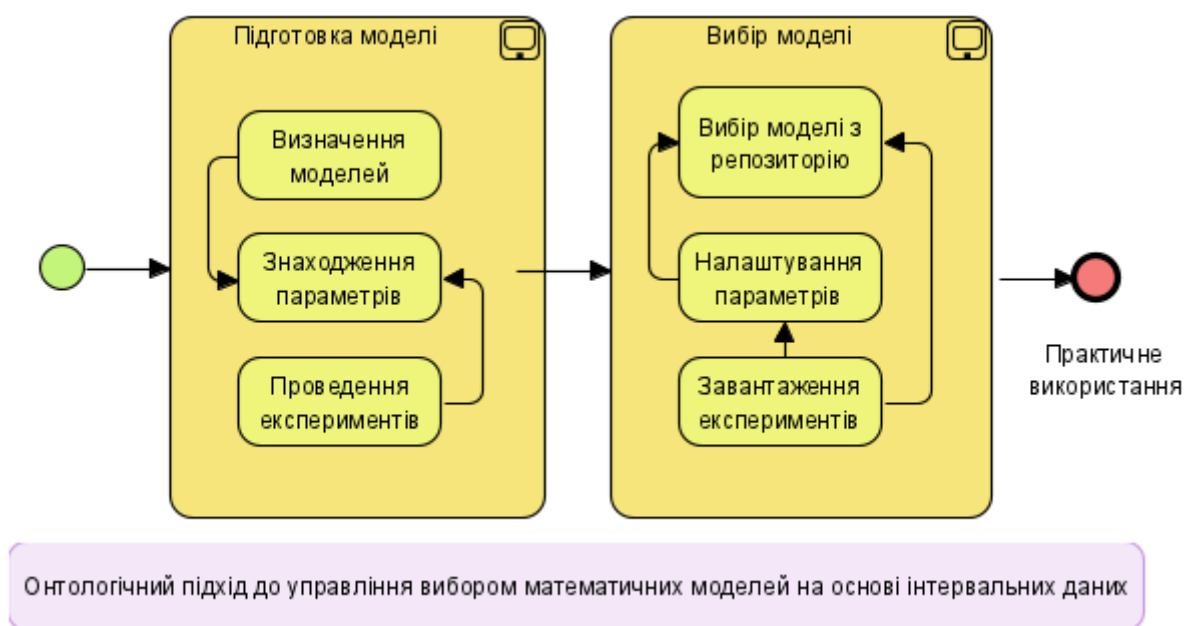


Рис. 1. Схема імплементції онтологічного підходу для математичного моделювання на основі інтервальних даних для практичного використання

Графічний інтерфейс користувача використовується для відображення результатів розв'язування (графіків або виразів) разом зі збереженням повертається до онтології використання математичних моделей, а також використовується для вибору найкращого екземпляра моделі, яку необхідно розв'язати і яка найкраще підійде до використання в тій чи іншій практичній ситуації. Також можна змоделювати перебіг виконання тих чи інших операцій, що досить зручно для прийняття відповідних рішень.

На рисунку 2 представлено загальну діаграму використання програмної системи для моделювання на основі методів інтервального аналізу та онтологічного підходу. Основними користувачами системи є дослідник, адміністратор та користувач, які можуть виконувати визначений набір функцій, які представлено на рисунку.

Проблемою застосування онтологічного підходу є складність використання побудованої інтервальної моделі у випадку інших умов середовища. Наприклад, у праці [16] розглянуто застосування зазначеного методу для побудови моделі поширення забруднень шкідливих викидів автотранспорту із використанням моделювання добового циклу динаміки концентрацій шкідливих викидів NO₂ (діоксид азоту) на перехресті вулиць Руська – Замкова – Шашкевича, м. Тернопіль. Результати експериментів показали, що побудована у праці модель динаміки концентрацій діоксиду азоту не є універсальною, тобто не може бути використана для моделювання в інших точках міста, а бо за інших погодних умов. Це пов'язано із неврахуванням дії різних в тому числі і випадкових чинників, які є характерними для конкретної точки, у якій здійснюється моделювання. До такого виду чинників відносять природну вентиляцію; наявність вертикальних та горизонтальних потоків повітря тощо.

Таким чином, для підвищення прогностичних властивостей моделей пропонуємо модифікувати вище описаний підхід із використанням нелінійного елементу в моделі, який виконує функцію перемикача

для обрання адекватної моделі, в залежності від умов її застосування. На рисунку 3 представлено схему взаємодії між зовнішніми інформаційними системами, середовищем моделювання, інформаційним репозиторієм та онтологічно-керованою підсистемою.

В інформаційному репозиторію зберігається база напрацьованих математичних моделей, яка включає такі основні компоненти: формалізовані математичні моделі (рівняння, функції, параметри, константи); графічна інтерпретація результатів моделювання (графіки, таблиці, різноманітні схеми); результати проведення експериментальних досліджень (опис предметної області, характеристики перебігу експериментів, результати застосування моделей).

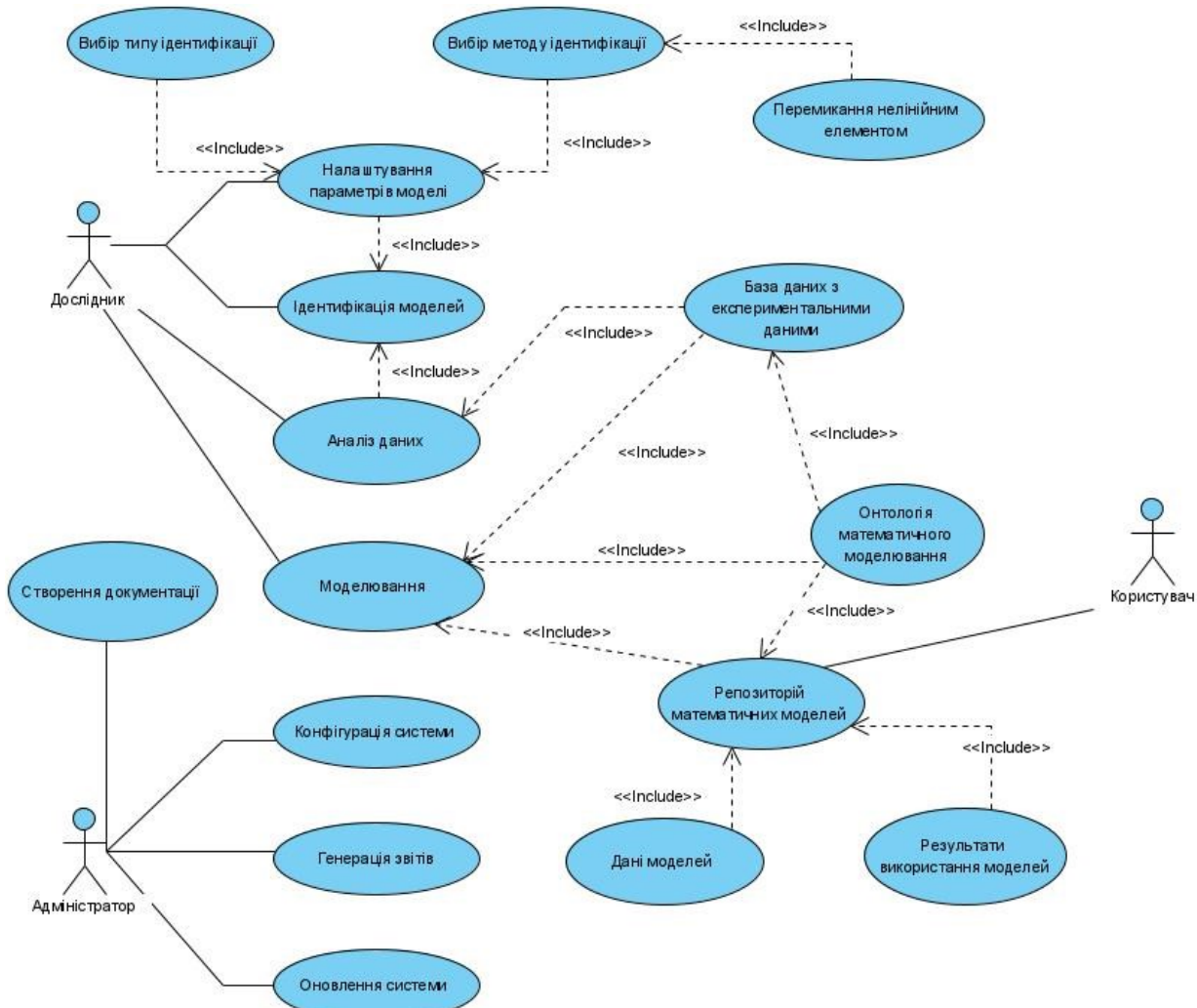


Рис. 2. Діаграма варіантів використання системи для математичного моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу

Програмна онтологічно-керована система SmartOntologyModeller містить реалізацію декларативної та операційної онтології математичного моделювання на основі інтервального аналізу, а також включає підсистему взаємодії із зовнішніми інформаційними системами та підсистему комунікації з інформаційними репозиторієм з метою повторного використання математичних моделей та побудову нових.

Модель взаємодії програмних підсистем слугує для отримання інформації про принципи взаємодії, які виникають в процесі операції побудови та використання математичних моделей. Сюди відносять інформацію про протоколи взаємодії, структуру пакетів для обміну даними та правила управління відповідним обміном. Важливим елементом у цьому підході є онтологічна модель предметної області, яка враховує різні умови застосування інтервальних моделей. Розглянемо цей підхід детальніше. Онтологічно-керована система інтерпретує знання, які отримані в процесі використання інтервальних математичних моделей. Ці знання можна розділити на декларативну та процедурну частини. Декларативна частина складається з інформації, яка необхідна для реалізації розв'язку моделі, інформації отриманої з моделі та відповідні рівняння моделі. Процедурна частина складається з деталізованих особливостей моделі, відповідних використовуваних методів та алгоритмів пошуку розв'язків, ініціалізації змінних та їх відповідна інтерпретація.

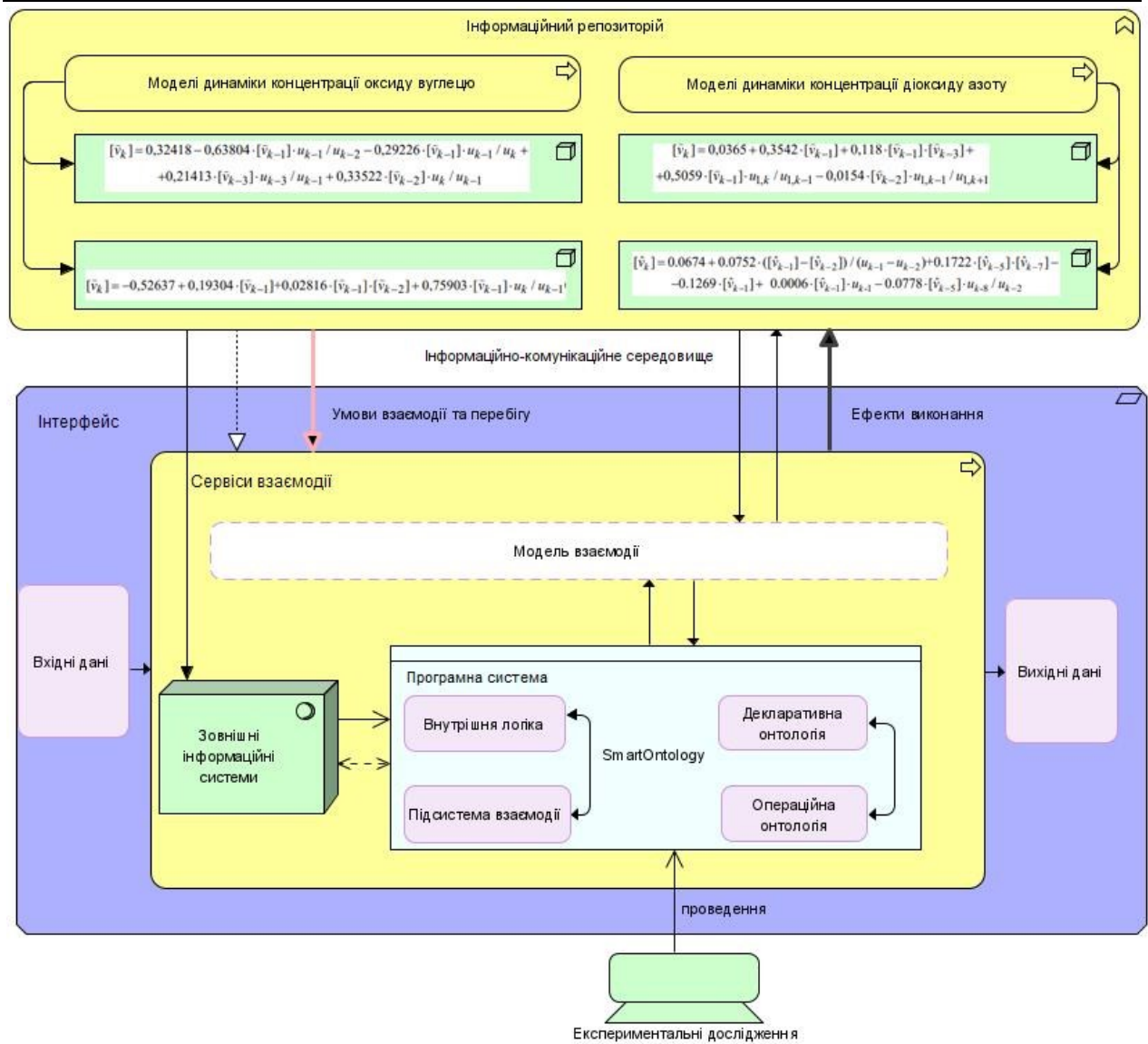


Рис. 3. Схема реалізації взаємодії онтологічно-керованої системи із зовнішніми інформаційними системами та відповідним інформаційним репозиторієм

Онтологічний підхід забезпечує побудову моделі представлення предметної області та слугує своєрідним нелінійним елементом інтервальної дискретної моделі, побудованої на основі аналізу інтервальних даних для розширення сфери застосування простіших моделей у певній предметній області.

Як зазначалося вище, для підвищення прогностичних властивостей моделей із забезпечення адекватності та достатньої для прийняття рішень точності поряд із методами управління вибором моделей з інформаційного репозиторію, пропонується модифікувати онтологічний підхід із використанням нелінійного елемента в моделі. Такий елемент слугуватиме засобом перемикавання в процесі вибору адекватної математичної моделі залежно від умов її застосування.

Процес виділення нелінійного елемента повинен знаходитися в домені основних його характеристик та характеристик математичної моделі. До основних характеристик самого нелінійного елемента необхідно віднести:

- формуючі параметри, які можуть містити як вхідні, так і вихідні дані. Ці параметри можна отримувати як і з інформаційного репозиторію, так і в процесі взаємодії із зовнішніми інформаційними системами;
- гіпотези, які описують основні варіанти використання вибраного нелінійного параметра, а також інші специфічні припущення;
- об'єкти, які дозволяють виділити основні властивості досліджуваних характеристик та сформувати основні цілі його впливу;
- дії, які визначають можливий набір операцій використання елемента;
- платформа, яка характеризує набір програмного забезпечення, яке можна використовувати в процесі імплементації математичної моделі;
- предметна область, яка характеризує сукупність пов'язаних між собою функцій, засобів управління, що розглядається в межах певного контексту;

До основних характеристик математичної моделі на основі інтервального підходу, які б корелювали з характеристиками виділеного нелінійного елемента необхідно віднести наступні:

- функції, які поряд із реалізацією виконання загально прийнятих математичних обчислень включають реалізацію основних процесів опису математичної моделі; тут також необхідно враховувати ступінь осмислення та розуміння функцій, які враховуються на етапі вибору можливих варіантів використання;
- використання, яке дозволяє описати та оцінити основні особливості, які стосуються певної предметної області та зовнішніх інформаційних систем, в тому числі і зовнішніх середовищ моделювання;
- технічні характеристики, які включають кількісні (похибка, ймовірність) та якісні (точність, адекватність, складність) оцінки моделей в процесі їх побудови та практичного використання.

Дуже важливим етапом виокремлення нелінійного елемента інтервальної дискретної моделі є процес його узгодження як окремого об'єкта з притаманними йому характеристиками та самої математичної моделі, яка має власну множину відповідних характеристик.

Такий процес можна формалізувати на основі відповідних формальних описів онтологічної моделі предметної області та онтологічного підходу для моделювання на основі інтервальних даних. Правила та оператори узгодженості згаданих характеристик можна описати на основі операцій класичної алгебри кортежів.

Іншою особливістю пропонованого підходу є те, що компоненти створеної таким чином моделі є повністю і повторно використовуваними, тобто рівняння, змінні, припущення з однієї моделі можуть бути використані повторно під час створення іншої моделі, або сформована база математичних моделей може бути повторно використана в процесі інтерпретації в інших інформаційних системах.

Підсистема управління перемиканням нелінійним параметром в процесі вибору математичних моделей ініціалізує оператори для формування параметрів моделі з відповідними значеннями, створює асоціації між змінними, формує фактичні команди побудови моделі та відповідний розв'язок множини рівнянь.

Також можна змоделювати перебіг виконання тих чи інших операцій, що досить зручно для прийняття відповідних рішень. Таким чином, вдається поєднати методи та засоби побудови дискретних моделей об'єктів з розподіленими параметрами у вигляді інтервальних різницевих рівнянь на основі поєднання онтологічного підходу та аналізу інтервальних даних.

Експериментальні дослідження

Практична реалізація онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних призводить до формування спільних структурних елементів, виходячи із специфіки їх використання для специфічних предметних областей. В роботі здійснено практичну реалізацію програмного забезпечення як один із варіантів використання напрацьованої бази модельних експериментів у різних предметних галузях в рамках пропонованого онтологічного підходу.

Онтологічний підхід дозволив здійснити побудову моделей представлення предметної області, а запропонована схема вибору нелінійного елемента інтервальної дискретної моделі, побудованої на основі аналізу інтервальних даних дозволив розширити сферу застосування простіших моделей у обраній предметній області.

В роботі було проведено ряд експериментальних досліджень, які стосувалися програмної реалізації методу перемикання нелінійним елементом математичної моделі залежно від зміни умов перебігу чи факторів проведення експериментів. Система реалізована з використанням мови програмування Java, підключення Python інструментарію та реляційної бази дани MySQL.

Користувач вибирає екземпляр моделі та відповідний операційний приклад. Для вибраної моделі здійснюється виокремлення нелінійного елемента, який на основі правил узгодженості дозволяє будувати відповідні оператори з використанням відповідним бібліотек, які інтерпретують рівняння з формалізованих, проіндексованих частин, ініціалізувати відповідні параметри моделі, засновані на відповідному екземплярі операції, і, нарешті, дозволяють обрати відповідну модель для побудови необхідного розв'язку або здійснити уточнення та побудову нової моделі.

Отримані результати можна інтерпретувати у відповідному графічному інтерфейсі (графіки, таблиці, схеми, набір результатуючих файлів), а також відображаються інші результати, які зберігаються назад в операційному екземплярі математичної моделі з відповідними уточненнями та розміщуються в інформаційному репозиторію з присвоєнням окремого ідентифікатора. Таке уточнення дозволить в майбутньому правильно обирати моделі залежно від специфіки вибраних чи зміни істотних умов використання у відповідній предметній області.

Розглянемо приклад застосування онтологічного підходу для побудови інтервальної дискретної динамічної моделі для моделювання добового циклу динаміки концентрацій шкідливих викидів концентрацій діоксиду азоту на одному із перехресть з насиченим рухом автотранспорту в м. Тернопіль.

В інформаційному репозиторії для вказаного об'єкта дослідження знайдено декілька інтервальних математичних моделей. На рисунку 4 наведено формальне представлення вибраної моделі в середовищі SmartOntologyModeller.

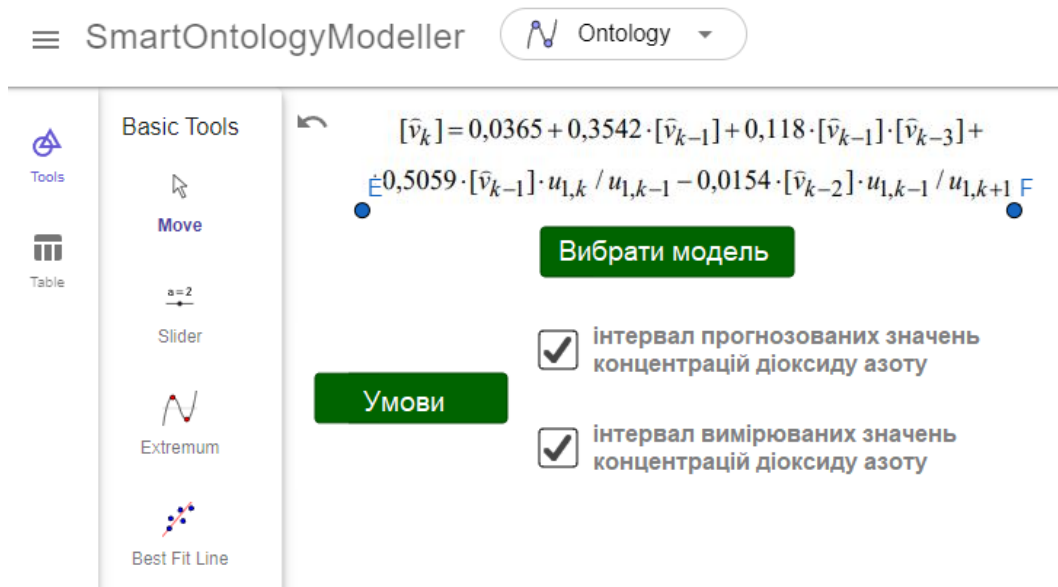


Рис. 4. Вибір інтервальної математичної моделі для моделювання добового циклу динаміки концентрацій шкідливих викидів концентрацій діоксиду азоту в середовищі SmartOntologyModeller

Наведена на рисунку 4 модель показує взаємозв'язок між концентрацією діоксиду азоту та інтенсивністю руху автотранспорту для різних точок міста. У результаті проведеного аналізу вибірки даних для розглянутого прикладу вдалося з'ясувати причину неможливості побудови єдиної моделі для дослідження динаміки концентрацій діоксиду азоту на перехрестях внаслідок забруднень автотранспортом, а саме через неоднозначність зв'язку між концентрацією діоксиду азоту та інтенсивністю руху автотранспорту для різних точок міста. Як витікає з проведеного аналізу, для усунення цієї проблеми необхідно здійснювати управління вибраним структурним елементом моделі.

На рисунку 5 представлено процедуру вибору нелінійного елемента інтервальної дискретної динамічної моделі та відповідне перемикавання на інший екземпляр моделі.

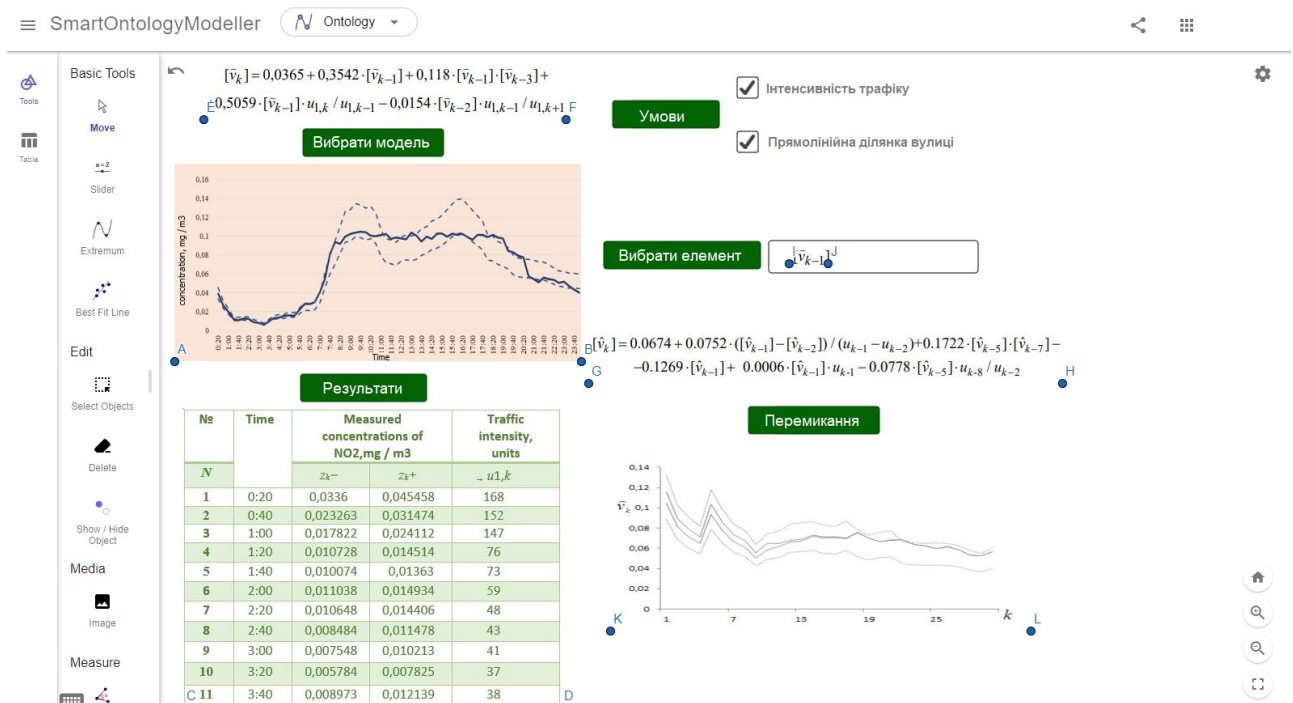


Рис. 5. Результати вибору нелінійного елемента дискретної динамічної моделі та відповідне перемикавання на інший екземпляр математичної моделі в середовищі SmartOntologyModeller

Таким чином, отримані результати в межах онтологічного підходу та аналізу інтервальних даних дозволяють представляти предметну область, у вигляді комплексного нелінійного елемента інтервальної дискретної моделі, побудованої на основі аналізу інтервальних даних для розширення сфери застосування простіших моделей у обраній предметній області.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Незважаючи на сучасний прогрес у більшості сфер використання та управління процесом математичного моделювання, управління знаннями у цій галузі є дуже перспективним напрямком наукових та практично-орієнтованих досліджень.

В рамках цієї роботи запропоновано архітектуру програмного забезпечення для математичного моделювання на основі інтервального аналізу та онтологічного підходу. Онтологічний підхід програмно імплементовано до формалізації як самих математичних моделей на основі інтервальних даних, так і формалізації особливостей їх використання. Такий підхід дозволяє значно спростити процес створення математичної моделі, маніпулювання, повторного використання та апробації у реалізованому програмному середовищі, так і спростує процес синхронізації у відповідних зовнішніх програмно-інтерпретованих середовищах.

Література

1. Rittle-Johnson, Bethany. (2017). Developing Mathematics Knowledge. Child Development Perspectives. 11.10.1111/cdep.12229.
2. Gorgorió, Núria & Albarracín, Lluís & Årleback, Jonas & Laine, Anu & Newton, Richard & Villarreal, Aitor. (2017). Fundamental Mathematical Knowledge: progressing its specification.
3. Heather C. Hill, Merrie L. Blunk, Charalambos Y. Charalambous, Jennifer M. Lewis, Geoffrey C. Phelps, Laurie Sleep & Deborah Loewenberg Ball (2008). Mathematical Knowledge for Teaching and the Mathematical Quality of Instruction: An Exploratory Study, COGNITION AND INSTRUCTION, 26:4, 430-511, DOI: 10.1080/07370000802177235
4. Suresh, P., G. Joglekar, Shuo-Huan Hsu, P. Akkisetty, Leaelaf Hailemariam, Ankur Jain, G. Reklaitis and V. Venkatasubramanian. "Onto MODEL: Ontological mathematical modeling knowledge management." Computer-aided chemical engineering 25 (2008): 985-990.
5. Cimiano, P. & Völker, J. (2005). Text2Onto – a Framework for Ontology Learning and Data-driven Change Discovery. In Proceedings of the 10th International Conference on Applications of Natural Language to Information Systems (NLDB'2005), 227-238.
6. Moreno Torres, Benjamí, Christoph Völker, Sarah M. Nagel, Thomas Hanke, and Sabine Kruschwitz. 2021. "An Ontology-Based Approach to Enable Data-Driven Research in the Field of NDT in Civil Engineering" Remote Sensing 13, no. 12: 2426. <https://doi.org/10.3390/rs13122426>
7. Madala H.R., Ivakhnenko A.G. Inductive learning algorithms for complex systems modeling. London, Tokyo: CRC Press, 1994.
8. Івахненко О.Г. Індуктивні методи самоорганізації моделей складних систем / Івахненко О.Г. – Київ : Наук.думка, 1982.
9. Self-organizing methods in modeling: GMDH type algorithms. Edited by S.J.Farlow. New York, Basel: Marcel Decker Inc., 1984. 350 p.
10. H. Pidnebesna and V. Stepashko, "Ontology-Based Design of Inductive Modeling Tools," 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), 2021, pp. 731-734, doi: 10.1109/ACIT52158.2021.9548121.
11. Urbiet, Itziar, Marcos Nieto, Mikel García, and Oihana Otaegui. 2021. "Design and Implementation of an Ontology for Semantic Labeling and Testing: Automotive Global Ontology (AGO)" Applied Sciences 11, no. 17: 7782. <https://doi.org/10.3390/app11177782>
12. Debellis, Michael. (2021). A Practical Guide to Building OWL Ontologies Using Protégé 5.5 and Plugins.
13. Дивак М. П. Ідентифікація дискретних моделей систем з розподіленими параметрами на основі аналізу інтервальних даних : монографія / М. П. Дивак, Н. П. Порплиця, Т. М. Дивак. – Тернопіль : Економічна думка ТНЕУ, 2018. – 220 с.
14. Дивак М. П. Задачі математичного моделювання статичних систем з інтервальними даними : монографія / М. П. Дивак. – Т. : Економ. думка ТНЕУ, 2011. – 215 с.
15. Дивак М. П. Прикладні задачі структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів [Електронний ресурс] : монографія / М. П. Дивак, А. В. Пукас, Н. П. Парплиця, А. М. Мельник. – Тернопіль : Університетська думка, 2021. – 212 с.
16. Dyvak M, Rot A, Pasichnyk R, Tymchyshyn V, Huliiev N, Maslyiak Y. Monitoring and Mathematical Modeling of Soil and Groundwater Contamination by Harmful Emissions of Nitrogen Dioxide from Motor Vehicles. Sustainability. 2021; 13(5):2768. <https://doi.org/10.3390/su13052768>
17. Mykola Dyvak, Andriy Melnyk, Artur Rot, Marcin Hernes, Andriy Pukas, "Ontology of mathematical modelling based on interval data", Complexity, vol. 2022, Article ID 8062969, 24 pages, 2022.

References

1. Rittle-Johnson, Bethany. (2017). Developing Mathematics Knowledge. Child Development Perspectives. 11.10.1111/cdep.12229.
2. Gorgorió, Núria & Albarracín, Lluís & Årleback, Jonas & Laine, Anu & Newton, Richard & Villarreal, Aitor. (2017). Fundamental Mathematical Knowledge: progressing its specification.

3. Heather C. Hill, Merrie L. Blunk, Charalambos Y. Charalambous, Jennifer M. Lewis, Geoffrey C. Phelps, Laurie Sleep & Deborah Loewenberg Ball (2008). Mathematical Knowledge for Teaching and the Mathematical Quality of Instruction: An Exploratory Study, *COGNITION AND INSTRUCTION*, 26:4, 430-511, DOI: 10.1080/07370000802177235
4. Suresh, P., G. Joglekar, Shuo-Huan Hsu, P. Akkisetty, Leaelaf Hailemariam, Ankur Jain, G. Reklaitis and V. Venkatasubramanian. "Onto MODEL: Ontological mathematical modeling knowledge management." *Computer-aided chemical engineering* 25 (2008): 985-990.
5. Cimiano, P. & Völker, J. (2005). Text2Onto – a Framework for Ontology Learning and Data-driven Change Discovery. In *Proceedings of the 10th International Conference on Applications of Natural Language to Information Systems (NLDB'2005)*, 227-238.
6. Moreno Torres, Benjamí, Christoph Völker, Sarah M. Nagel, Thomas Hanke, and Sabine Kruschwitz. 2021. "An Ontology-Based Approach to Enable Data-Driven Research in the Field of NDT in Civil Engineering" *Remote Sensing* 13, no. 12: 2426. <https://doi.org/10.3390/rs13122426>
7. Madala H.R., Ivakhnenko A.G. *Inductive learning algorithms for complex systems modeling*. London, Tokyo: CRC Press, 1994.
8. Ivakhnenko O.H. *Induktyvni metody samoorhanizatsii modelei skladnykh system*. Kyiv: Nauk.dumka, 1982.
9. Self-organizing methods in modeling: GMDH type algorithms. Edited by S.J.Farlow. New York, Basel: Marcel Decker Inc., 1984. 350 p.
10. H. Pidnebesna and V. Stepashko, "Ontology-Based Design of Inductive Modeling Tools," 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), 2021, pp. 731-734, doi: 10.1109/ACIT52158.2021.9548121.
11. Urbietia, Itziar, Marcos Nieto, Mikel García, and Oihana Otaegui. 2021. "Design and Implementation of an Ontology for Semantic Labeling and Testing: Automotive Global Ontology (AGO)" *Applied Sciences* 11, no. 17: 7782. <https://doi.org/10.3390/app11177782>
12. Debellis, Michael. (2021). A Practical Guide to Building OWL Ontologies Using Protégé 5.5 and Plugins.
13. Dyvak M. P. *Identyfikatsiia dyskretnykh modelei system z rozpodilenyimi parametramy na osnovi analizu intervalnykh danykh : monohrafiia / M. P. Dyvak, N. P. Porplytsia, T. M. Dyvak. – Ternopil: Ekonomichna dumka TNEU, 2018. – 220 s.*
14. Dyvak M. P. *Zadachi matematychnoho modeliuvannia statychnykh system z intervalnymi danymi : monohrafiia / M. P. Dyvak. - T. : Ekonom. dumka TNEU, 2011. - 215 s.*
15. Dyvak M. P. *Prykladni zadachi strukturnoi ta parametrychnoi identyfikatsii intervalnykh modelei skladnykh ob'ektiv [Elektronnyi resurs] : monohrafiia / M. P. Dyvak, A. V. Pukas, N. P. Parplytsia, A. M. Melnyk. - Ternopil : Universytetska dumka, 2021. - 212 s.*
16. Dyvak M., Rot A., Pasichnyk R., Tymchyshyn V., Huliiev N., Maslyiak Y. *Monitoring and Mathematical Modeling of Soil and Groundwater Contamination by Harmful Emissions of Nitrogen Dioxide from Motor Vehicles. Sustainability*. 2021; 13(5):2768. <https://doi.org/10.3390/su13052768>
17. Mykola Dyvak, Andriy Melnyk, Artur Rot, Marcin Hernes, Andriy Pukas, "Ontology of mathematical modelling based on interval data", *Complexity*, vol. 2022, Article ID 8062969, 24 pages, 2022.

Рецензія/Peer review : 05.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

МАЙДАН П. С.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3319-8730>maidanp@khmnu.edu.ua

МАКАРИШКІН Д. А.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3447-811X>makaryshkin@ukr.net

МИХАЙЛОВСЬКИЙ Ю. Б.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2615-7332>YuriyMikhaylovskiy@gmail.com

ЗОЛОТЕНКО Е. О.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7616-2784>ellafilepchenko@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МАНІПУЛЯТОРА В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ TIA PORTAL V.15.1 (ПОВІДОМЛЕННЯ 1)

В роботі наведено результати моделювання роботи маніпулятора із шістьма ступенями вільності, виконані в програмному середовищі TIA PORTAL V.15.1. А саме перший етап, створення технологічних об'єктів, що використовуються в якості цифрових двійників для запуску крокових двигунів, які встановлені в конструкції маніпулятора. Створення технологічних об'єктів дозволить перевірити правильність роботи маніпулятора в тестовому режимі, визначити та запрограмувати необхідні швидкості та прискорення, відслідкувати та виключити можливі помилки при запуску в роботу.

Ключові слова: мехатроніка, автоматизація, двигун, моделювання, технологічний об'єкт, цифровий двійник, TIA PORTAL V.15.1.

Pavlo MAIDAN, Denys MAKARYSHKIN, Yuriy MYKHAYLOVSKIY, Ella ZOLOTENKO

Khmelnitskyi National University

SIMULATION THE WORKING OF THE MANIPULATOR IN THE SOFTWARE ENVIRONMENT TIA PORTAL V.15.1 (NOTIFICATION 1)

It is known that manipulators with automatic and hand types of control are distinguished by the type of control system. In manipulators with an automatic type of control, the links of the executive mechanism are set in motion by servo drives operating according to a previously developed program. In manipulators with a hand control type, there is an operator who acts on the links of the control mechanism and drives the links of the executive mechanism.

The paper presents the results of simulation the working of the manipulator with six degrees of freedom, performed in the software environment TIA PORTAL V.15.1. Namely, the first stage, creating technological objects used as digital doubles for starting stepper motors, which are installed in the design of the manipulator. The creation of technological objects will make it possible to check the correct operation of the manipulator in the test mode, to determine and program the necessary speeds and accelerations, to monitor and eliminate possible errors during start-up.

To simplify the application of some technological functions that can be used together with the SIMATIC controller, the so-called Technology objects (TO) were used in the software environment TIA Portal. When using TO data, available functions are encapsulated and provided to the application developer for ease of access and convenient use in the application environment. In particular, in the area of «Motion control», such TOs are used to facilitate the control and processing of data from axes, additional motion control functions, as well as to support the developer in creating a specialized program with motion control functions.

The first stage of simulation the working of the manipulator in the software environment TIA Portal was completed, namely the creation of technological objects of this manipulator, that is, the creation of digital doubles for three stepper motors of the type 28BYJ-48, which are used as drives for the task of moving the manipulator.

Keywords: mechatronics, automation, engine, modeling, technological object, digital double, TIA PORTAL V.15.1.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Відомо, що від виду системи керування розрізняють маніпулятори із автоматичним та ручним типами керування [1-4]. У маніпуляторах із автоматичним типом керуванням ланки виконавчого механізму приводяться у рух сервоприводами, що працюють за попередньо розробленою програмою. Маніпулятори із автоматичним типом керуванням, що використовуються при автоматизації виробничих та технологічних процесів носять загальну назву - промисловий робот.

У маніпуляторах із ручним типом керування є оператор, який діє на ланки механізму керування та приводить у рух ланки виконавчого механізму. Відомо, що граничні сили та переміщення виконавчого органу обмежені можливостями оператора. У разі потреби більших потужностей окремі ланки виконавчого механізму приводяться у рух приводами за сигналами, що створюються оператором через пристрій керування.



Рис.1. Загальний вигляд маніпулятора із 6 ступенями свободи

Виконавчий механізм будь-якого виду маніпулятора представляє собою багатоланковий просторовий механізм, який може мати не лише поступальні чи обертальні, а і сферичні чи циліндричні кінематичні пари. В залежності від потреб технологічного процесу маніпулятор повинен забезпечувати різне число ступенів вільності для захватного пристрою.

Аналіз останніх джерел

Загально відомо, що мехатроніка рахується галуззю науки та техніки, яка була заснована на синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки із електронними, електротехнічними або комп'ютерними компонентами. Таке поєднання елементів забезпечує проектування та виробництво якісно нових механізмів, машин та систем із інтелектуальними системами керування та функціональними рухами [1, 2, 3]. Тому принципи синергетики лежать в якості бази при побудові мехатронних систем, а саме для поєднання в одному агрегаті компонентів із різною технічною природою, які адаптивно будуть взаємодіяти із навколишнім середовищем як єдиний функціональний і конструктивний організм.

Відомо, що мехатроніка прагне досягти повної інтеграції механіки, силової електроніки, електричних машин, мікропроцесорної техніки, програмованих логічних контролерів (ПЛК) та спеціалізованого програмного забезпечення [2]. У такому визначенні особливо підкреслена триєдина суть будь-якої мехатронної систем (МС), в основу побудови якої покладено якраз таки ідея глибокого взаємозв'язку механічних, електронних та комп'ютерних елементів [3].

При моделюванні мехатронних виробів синергетична інтеграція всіх елементів базується на трьох основних принципах:

- вибір інтерфейсів або зв'язків між блоками в якості локальних точок інтеграції та виключення із конструкції надлишкових структурних блоків та інтерфейсів;
- виготовлення виробів із мінімально можливою кількістю структурних та конструктивних елементів шляхом об'єднання їх (двох або більше) в єдині багатофункціональні модулі або блоки;
- передача функцій у МС від апаратних блоків до інтелектуальних (інформаційних, комп'ютерних або програмних) компонентів.

У машинобудуванні метою та предметом мехатроніки є розробка та виробництво якісно нових модулів руху та машин, що базуються на їх основі, які є необхідними для виконання потрібних функціональних рухів та дій машин і механізмів. А функціональний рух МС являє собою цілеспрямоване механічне переміщення, яке необхідно скоординувати із паралельно керованими технологічними та інформаційними процесами [3, 4].

Для створення програм для ПЛК на сучасному етапі розвитку техніки використовуються спеціалізовані інтегровані середовища розробки (ICP, англ. IDE – Integrated development environment), що складаються із текстових редакторів, вбудованих компіляторів, редакторів зв'язку, завантажувачів та симуляторів. IDE зазвичай є єдиним програмним засобом, в якому виконується вся необхідна розробка. Вона, як правило, містить багато функцій для створення, зміни, компілювання, розгортання і налагодження програми ПЛК.

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) – інтегроване середовище розробки програмного забезпечення систем автоматизації технологічних процесів на основі обладнання виробництва фірми «Siemens» [5-7].

У програмному середовищі TIA Portal [6, 7] використовується два способи відображення структури майбутнього проекту автоматизації: так зване портальне відображення (portal view) та проектно-орієнтоване відображення (project view). Портальне відображення представляє загальну структуру проекту із точки зору

завдань та функцій, які виконуються. Проектно-орієнтоване відображення представляє усі компоненти, що використовуються всередині проекту та дозволяє отримати швидкий доступ до будь-якого з них. У процесі роботи над проектом при необхідності в будь-який момент можна переключитись від портального до проектно-орієнтованого відображення структури проекту та назад [7].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: моделювання роботи маніпулятора в програмному середовищі TIA PORTAL V.15.1, для виконання необхідних досліджень його роботи в якості цифрового двійника.

Виклад основного матеріалу

Для спрощення застосування деяких технологічних функцій, які можна використовувати разом із контролером SIMATIC, в програмному середовищі TIA Portal було використано так звані Technology objects (TO). При використанні даних TO доступні функції інкапсулюються та надаються розробнику програми для зручності доступу та зручного використання в програмному середовищі [5, 6].

Зокрема, в області «Motion control» такі TO використовують для полегшення керування та обробки даних з осей, додаткових функцій керування рухом, а також для підтримки розробника при створенні спеціалізованої програми із функціоналами керування рухом.

TO для керування рухом в SIMATIC має наступні властивості [7]:

- представляє механічні компоненти;
- представляє програмний об'єкт у ПЛК;
- дозволяє рівномірне налаштування та конфігурацію;
- інкапсулює технологічну функціональність;
- забезпечує просте підключення накопичувачів та кодерів, а також розподіленого вводу–виводу

даних;

- містить механічну конфігурацію, моніторинг та обмеження привода та механіки, яка до нього підключена;

- адресація TO виконується за допомогою інструкцій розробника програми PLCopen щодо керування рухом.

Це гарантує просте та стандартизоване використання функцій контролю руху в SIMATIC.

TO для «Motion control» (рис. 2) – так званий технологічний об'єкт «TO_PositioningAxis», що використовується для відображення компонент механічного привода в ПЛК.

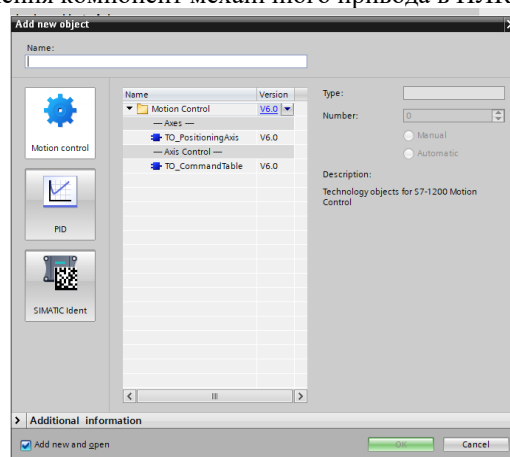


Рис. 2. Технологічні об'єкти S7-1200 – керування рухом

У вікні конфігурації «Drive» проводиться налаштування генератору імпульсів, а також вмикання приводу та зворотній зв'язок із ним (рис. 3).

Налаштування «Hardware interface» – або налаштування імпульсів, що будуть виводитись на блок живлення приводу за допомогою спеціально призначених цифрових виходів. У процесорах із релейними виходами імпульсний сигнал не може виводитися на такі виходи, так як такі реле не мають підтримки необхідних частот перемикання. Щоб мати можливість роботи із Pulse Train Output (PTO) на таких процесорах, розробники повинні використовувати спеціальну сигнальну плату із розташованими на ній цифровими виходами.

Використання PTO вимагає застосування високошвидкісних лічильників (HSC), тому буде використовуватись вбудований HSC.

Pulse generator (рис. 3) – у запропонованому переліку необхідно обрати саме PTO для керування кроковим двигуном або сервомотором за допомогою використання імпульсного інтерфейсу. Якщо розробник не використовував генератори імпульсів та HSC (в конфігурації пристрою), апаратний інтерфейс можна налаштувати автоматично. У цьому випадку вибраний у випадаючому списку PTO буде відображатись із білим тлом.

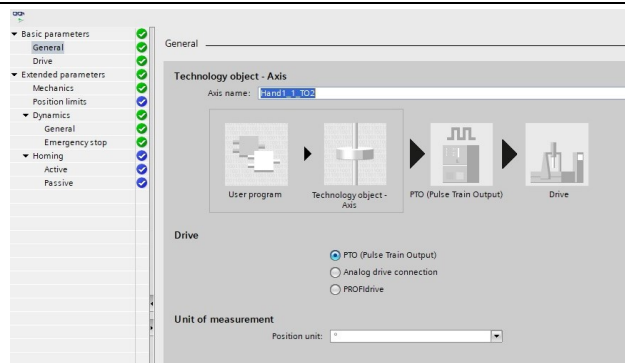


Рис. 3. Створення нового технологічного об'єкта для керування маніпулятором

Так як обрали саме PTO, за допомогою кнопки «Device configuration» переходимо до призначення параметрів імпульсних параметрів у конфігурації пристрою CPU. Це може знадобитися, якщо існує конфлікт, оскільки PTO використовується на іншому кінці або користувач змінив параметри.

Signal type обирається із наступних типів сигналу:

- PTO (pulse A and direction B) – для керування кроковим двигуном буде використовуватись імпульсний та напрямний виходи.

– PTO (clock up A and clock down B) – для керування кроковим двигуном буде використовуватись по одному імпульсному виходу для руху в позитивному та негативному напрямках.

– PTO (A/B phase-shifted) – імпульсні виходи для фаз A та B будуть працювати із однаковою частотою. Період імпульсних виходів оцінюється на кінці привода як крок. Зсув фази між фазами A та B буде визначати напрямок руху;

– PTO (A/B phase offset – quadruple) – імпульсні виходи для фази A та B працюють із однаковою частотою. Всі позитивні та всі негативні фронти фаз A та B будуть оцінюватись як крок на кінці привода. Зсув фази між фазами A та B буде визначати напрямок руху.

Отже, обираємо в якості привода Drive→PTO (Pulse Train Out), привод будемо підключати через вихід генератора імпульсів, додатковий вихід активації та додатковий вхід, одиниці вимірювання встановлюємо в градусах Position unit→°.

Наступним кроком буде налаштування самого привода (рис. 4).

Hardware interface→Pulse generator із випадаючого списку обираємо Pulse_1. Signal type із випадаючого списку обираємо PTO (pulse A and direction B) – імпульсний та напрямний виходи будуть застосовуватись для керування кроковим двигуном. Програма автоматично підтягне потрібні значення. Pulse output – обираємо імпульсний вихід для руху в позитивному напрямі в цьому полі. Можливо обрати вихід, використовуючи або його символічну адресу, або призначити його абсолютну адресу.

Activate direction output використовуючи дану функцію можна вмикати або вимикати напрямний вихід, отже і, напрямок руху буде обмежуватись, якщо вимкнути напрямний вихід.

Direction output в цій вкладці обирається вихід для напрямного виходу. Ви можете вибрати вихід, використовуючи символічну адресу, або призначити його абсолютну адресу.

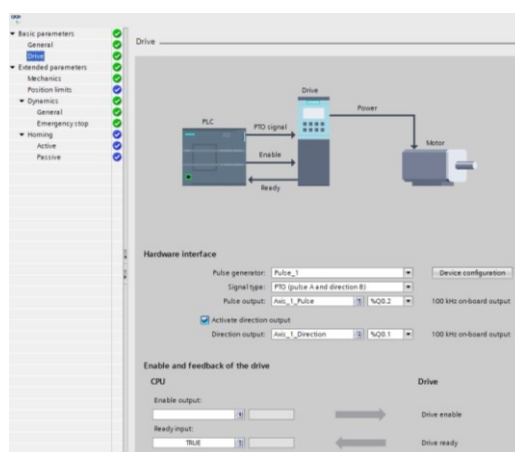


Рис. 4. Налаштування крокового двигуна типу 28BYJ-48

Налаштування розширених механічних параметрів (Extended parameters) представлено на рис. 5.

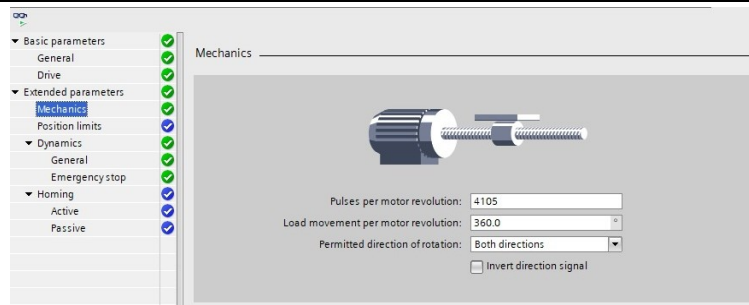


Рис. 5. Налаштування механічних розширених параметрів двигуна

Вкладка Mechanics або механічні параметри двигуна (рис. 5):

- налаштування кількості імпульсів, які необхідні для одного повного оберту привода (межі не залежать від обраної одиниці вимірювання); $0 < \text{імпульс на один повний оберт привода} \leq 2147483647$;
- навантаження за один повний оберт привода, налаштування відстані навантаження на обертання привода: (межі не залежать від обраної одиниці вимірювання); $0,0 < \text{відстань на один оберт привода} \leq 1,0e12$).

Якщо виконувати налаштування даного вікна, це дозволить визначити, чи має механіка проектованої системи обертатись в обох або лише в одному напрямках. Якщо ми не виконаємо активацію напрямку виходу імпульсного генератора в режимі PTO (pulse A and direction B), вибір буде обмежено або позитивним або негативним напрямком.

Invert direction – будемо використовувати для того, щоб адаптувати систему керування до логіки напрямку привода. Логіка напрямку буде оберненою відповідно до обраного режиму генератора імпульсів:

- PTO (pulse A and direction B) – 0 В на напрямному виході → позитивний напрям обертання; 5 В/24 В на напрямному виході → негативний напрям обертання;
- PTO (clock up A, clock down B) – виходи Pulse output down та Pulse output up будуть обернені;
- PTO (A/B phase-shifted) – виходи Phase A та Phase B будуть змінені місцями;
- PTO (A/B phase-shifted – quadruple) – виходи Phase A та Phase B будуть змінені місцями.

При моделюванні нашого маніпулятора оберемо наступні величини: Pulse movement per motor revolution→4105; Load movement per encoder revolution→360,0°; Permitted direction of rotation→Both directions.

Вкладка «Position limits» буде використовуватись для налаштування границь положення привода двигуна. HW limit switchers (рис. 5) – це активація функції нижнього та верхнього апаратних вимикачів. Апаратні кінцеві вимикачі можуть застосовуватись для цілей реверсування напрямку під час виконання процедури самонаведення. SW limit switchers – активація функції нижнього та верхнього кінцевих вимикачів програмного забезпечення.

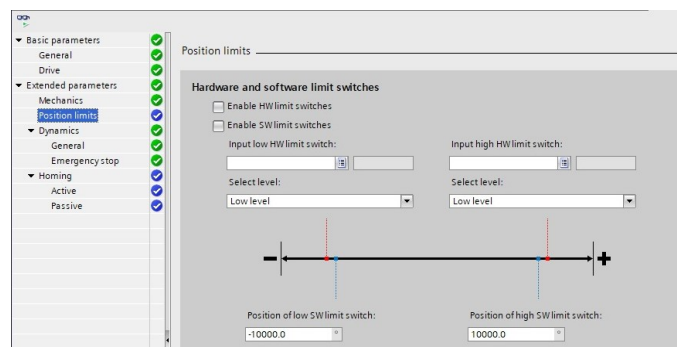


Рис. 6. Налаштування Position limits для об'єкта маніпулятор

Наступний крок моделювання роботи маніпулятора – налаштування вкладки динамічних параметрів (Dynamics→General), або, якщо точніше, налаштування його швидкості запуску/зупинки, максимальної його швидкості, його прискорення та уповільнення та границь величини поштовху (позиціонування осі TO у V2) осі.

Unit of velocity limits – у випадяючому списку виберемо одиниці вимірювання, за допомогою яких можливо вказати обмеження величини швидкості. Вибір одиниць вимірювання залежить від одиниці вимірювання, яку нами було обрано в розділі Configuration→Basic parameters→General, і слугує лише для спрощення введення даних. Це забезпечує можливість ввести максимальну швидкість як значення швидкості двигуна в %с (рис. 7).

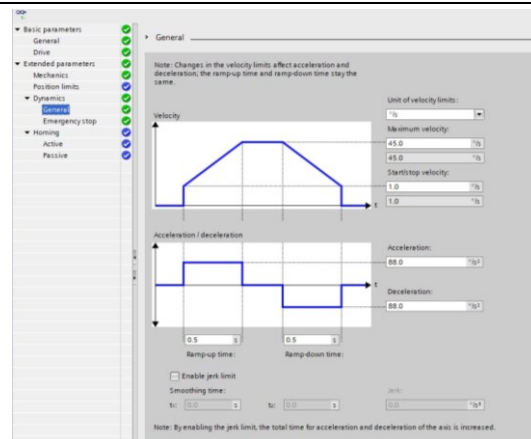


Рис. 7. Налаштування параметрів «Dynamics→General»

У віконці Velocity необхідно вказати значення для швидкості руху маніпулятора: Unit of velocity limits → 1/s; Maximum velocity → 45 1/s; Start/stop velocity → 1.0 1/s.

У віконці Acceleration/deceleration необхідно вказувати величини прискорення/сповільнення: acceleration → 88.0 1/s²; deceleration → 88.0 1/s².

Програма автоматично змінить час прискорення та сповільнення (ramp-up/ramp-down time) (рис. 6).

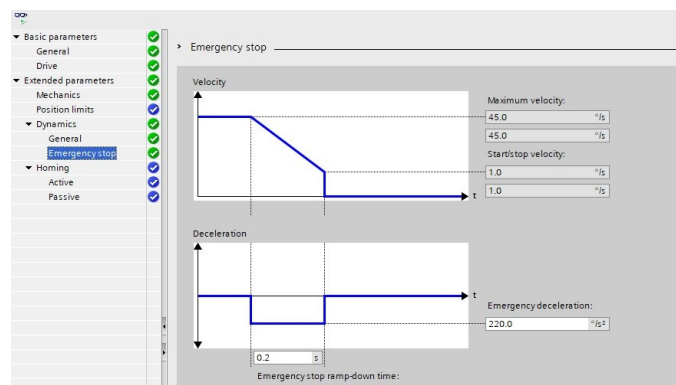
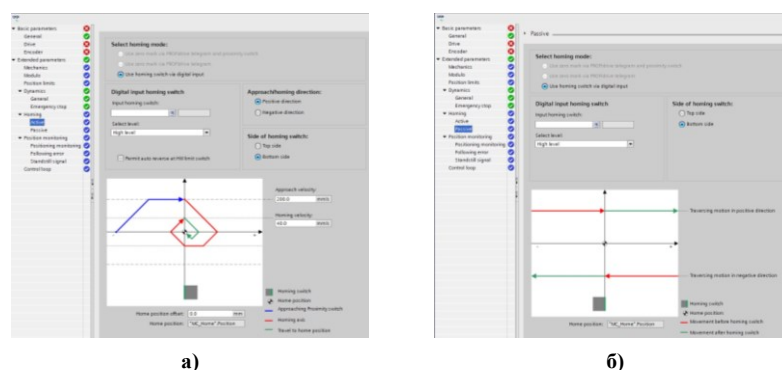


Рис. 8. Налаштування вкладки «Emergency stop»

Вказуємо необхідну швидкість (velocity): Maximum velocity → 45.0 1/s; Start/stop velocity → 1.0 1/s.

Заповнюємо віконце із величиною аварійного сповільнення: (deceleration): emergency deceleration → 220.0 1/s². В залежності від нашого заповнення віконця програма автоматично перерахує час аварійного сповільнення (emergency stop ramp-down time).

Наступний крок моделювання – налаштування вкладки самонаведення (homing), рис. 9.

Рис. 9. Налаштування самонаведення осі маніпулятора:
а) – активне; б) – пасивне

Якщо ми обрали з'єднання із приводом маніпулятора через РТО або аналоговий вихід із вбудованим HSC в якості енкодера, єдиним доступним режимом самонаведення є «Use homing mark via digital input» або використання мітки самонаведення через цифровий вхід.

Цифрові входи (Digital inputs) – у цій області ми налаштовували перемикачем самонаведення:

– Input homing switch – у цьому полі обирається цифровий вхід для перемикача самонаведення.

Вікно введення в експлуатацію (commissioning) – дозволяє перевірити роботу змодельованого маніпулятора в тестовому режимі, на правильність підключення та відсутність помилок (рис. 10).

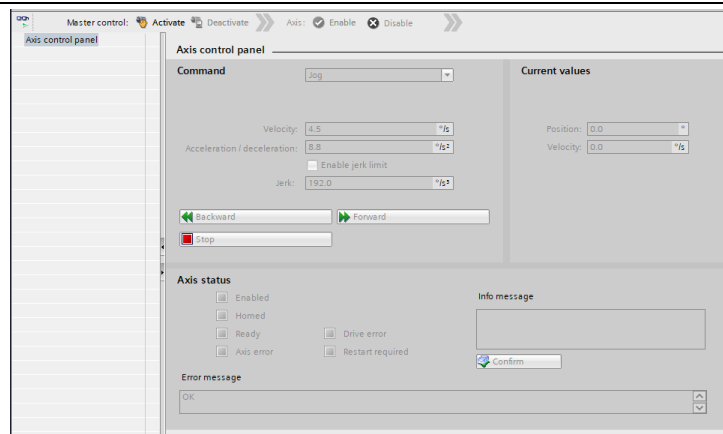
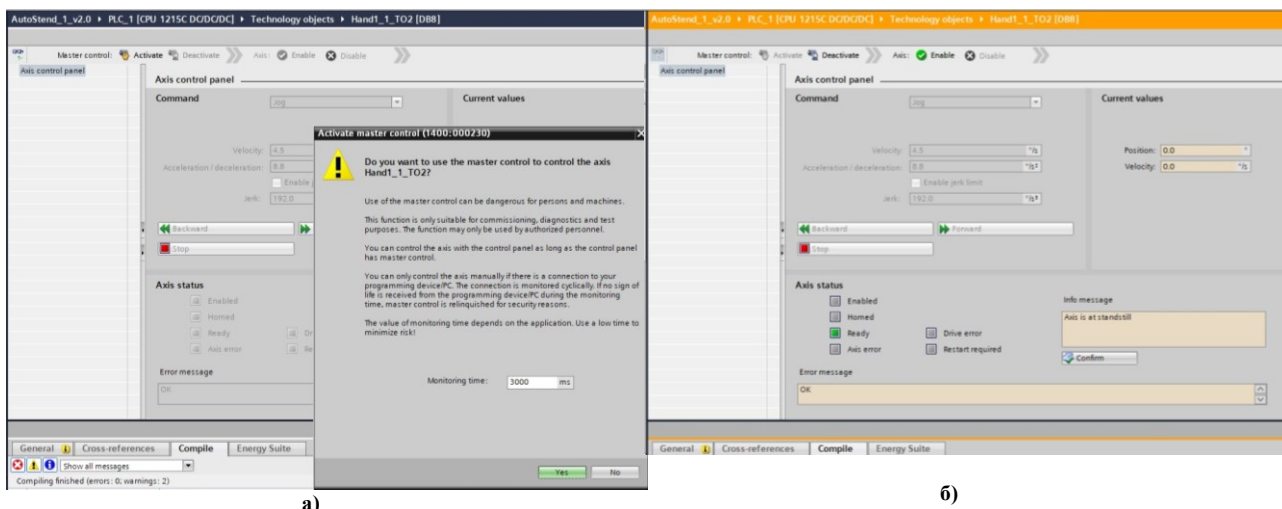


Рис. 10. Вікно Commissioning



а)

б)

Рис. 11. Активізація режиму моделювання в вікні Commissioning:

а) – активізація режиму моделювання; б) – активний режим моделювання

Вікно Commissioning має лише одну вкладку - axis control panel, панель керування віссю, яка дозволяє запустити двигун маніпулятора в режимі симуляції та перевірити його роботу. Axis control panel можна застосовувати, лише якщо встановлено підключення до CPU в режимі он-лайн. Рекомендується відключити будь-який інший Інтернет-зв'язок, коли використовується Axis control panel та оптимізація, щоб скоротити тривалість часу відгуку, час моніторингу стану приводу можна обирати.

Axis control panel має умовний розподіл на наступні області (рис. 11):

1. Master control – у цій області можливо взяти на себе головне керування над ТО або повернути його створеній вами автоматичній програмі:

– кнопка Activate – використовується для підключення до CPU через мережу Інтернеті та для головного керування обраним ТО.

Необхідно також враховувати наступне, приймаючи на себе головне керування ТО:

1) щоб взяти на себе головне керування, ТО повинен бути відключений у автоматичній програмі користувача;

2) поки головне керування не повертається, автоматична програма користувача не впливає на функції ТО. Завдання керування рухом від автоматичної програми користувача до ТО відхиляються з помилкою;

3) кнопка Deactivate – за допомогою даної кнопки ви повертаєте головне керування у свою автоматичну програму користувача.

2. Axis – у цій області ввімкніть або вимкніть ТО для роботи з панеллю керування віссю/оптимізацією:

– кнопка Enable – відповідає за вмикання вибраного ТО;

– кнопка Disable – вимикання вибраного ТО.

3. Command – операція можлива лише за умови вмикання осі. Ви можете вибрати один із наступних входів команд:

– Jog – так званий «поштовх», дана команда еквівалентна команді керування рухом MC_MoveJog в програмі користувача;

– Positioning – дана команда «переміщення» еквівалентна командам керування рухом MC_MoveAbsolute та MC_MoveRelative в програмі користувача, але вісь повинна бути самонаведена для абсолютного позиціонування;

– Homing – дана команда «позиціонування» еквівалентна команді керування рухом MC_Home в програмі користувача.

Кнопка «Set reference point» відповідає режиму – 0 (пряме абсолютне самонаведення), а кнопка «Homing» відповідає режиму – 3 (активне наведення). Для активного самонаведення перемикач самонаведення повинен бути налаштований у конфігурації осі.

Значення швидкості заходу, швидкості самонаведення та зміщення опорного положення беруться з конфігурації осі без змін. Залежно від вибору відображаються відповідні поля для введення заданих значень та кнопки запуску команди.

Якщо вибрати «Enable jerk limitation» дана функція використовується для активації обмеження поштовху. За замовчуванням поштовх встановлюється на величині 10% від налаштованого значення, але можливо змінювати дане значення відповідно до вимог.

4. Current values – у цій області відображаються фактичні значення осі такі як Position та Velocity.

5. Axis status відображає поточний стан осі та стан привода маніпулятора.

У вікні Info message відображається розширена інформація про стан осі, а у Error message відображається поточна помилка. Необхідно натиснути Acknowledge для підтвердження всіх видалених помилок.

З міркувань безпеки параметри velocity, acceleration/deceleration та jerk ініціалізуються зі значеннями, еквівалентними лише 10 % від налаштованих значень, коли панель керування віссю активована.

Значення у вікні конфігурації, що відображаються при виборі Extended parameters→Dynamics→General, використовуються для ініціалізації.

Параметр velocity на панелі керування віссю вираховується із параметрів Maximum velocity та параметрів Acceleration/Deceleration з Acceleration у конфігурації.

Параметри Velocity, Acceleration/deceleration та Jerk можна змінити на панелі керування віссю в режимі моделювання процесу.

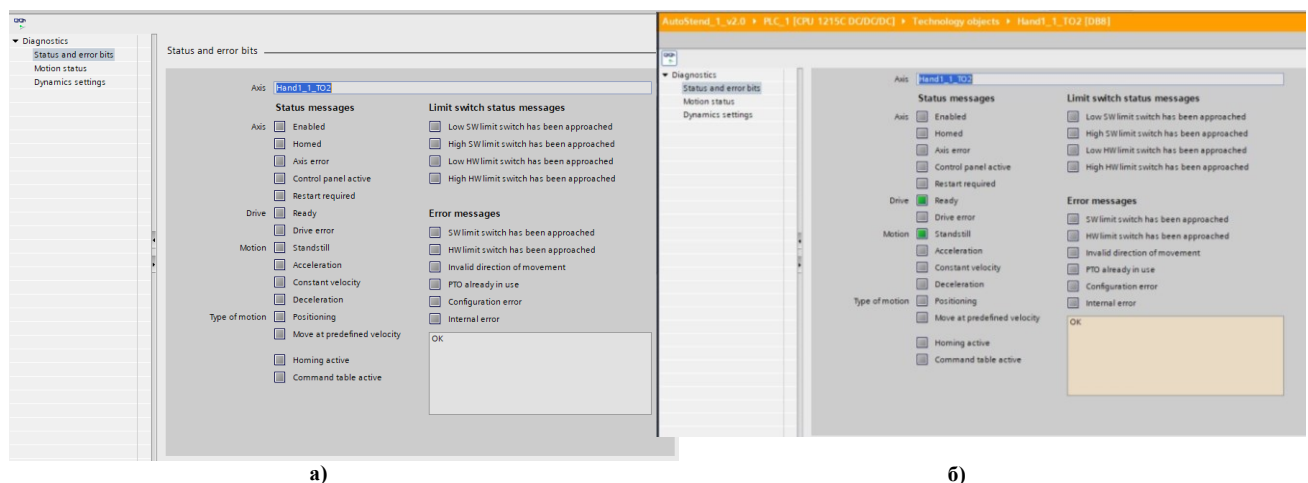


Рис. 12. Загальний вигляд вікна «Diagnostics»:
а) – неактивований режим; б) – активований режим

Вікно «Diagnostics» складається із наступних вкладок (рис. 12):

- status and error bits – тобто перевірка положень та станів осі та привода;
- motion status – перевірка положення, актуальна та задана позиція, актуальна та задана швидкості;
- dynamics settings – величини прискорення та гальмування, екстреного гальмування.

В активованому режимі діагностики відображається поточний стан приводу та осі.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Виконано перший етап моделювання роботи маніпулятора в програмному середовищі TIA Portal, а саме створення технологічних об'єктів даного маніпулятора, тобто створення цифрових двійників для трьох крокових двигунів типу 28BYJ-48, які використовуються в якості приводів для завдання руху маніпулятору.

Література

1. Введение в мехатронику: уч. пособие / А.И. Грабченко, В.Б. Клепиков, В.Л. Доброскок и др. – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – 264 с.
2. Цвіркун Л. І. Робототехніка та мехатроніка : навч. посіб. / Л. І. Цвіркун, Г. Грулер; під заг. ред. Л. І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Держ. вищий навч. закл. «Нац. гірн. ун-т». - 3-тє вид., перероб. і доп. - Дніпро : НГУ, 2017. - 224 с.
3. Сучасні електромехатронні комплекси і системи : навч. посібник / Т. П. Павленко, В. М. Шавкун, О. С. Козлова, Н. П. Лукашова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім.

О. М. Бекетова, 2019. – 116 с. ISBN 978-966-695-502-2.

4. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні / [Л.Є.Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гаркавенко та ін.]. – К.: Інтерсервіс, 2016. – 258 с.

5. Руководство по программированию S7-1200/S7-1500. STEP 7 (TIA Portal) и STEP 7 Safety в TIA Portal – Entry-ID: 81318674, V1.4, 11/2015. – 109 с.

6. Программируемый контроллер S7-1200. Системное руководство. 11/2009, A5E02669003-02.

7. Автоматизація технологічних процесів : лабораторний практикум з дисципліни для здобувачів вищої освіти спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування»; 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»; 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / уклад.: П. С. Майдан, Д. А. Макаришкін, Е. О. Золотенко, А. В. Буряк. – Хмельницький : ХНУ, 2021. – 116 с.

8. The Technology Objects (TO) of SIMATIC S7-1500(T). TIA Portal V14/SIMATIC S7-1500/SIMATIC S7-1500T. – Entry ID: 109743134, V1.0, 05/2017 – 60 p.

9. Moving PTO positioning axes of an S7-1200 as IO device centrally from an IO controller. SIMATIC S7-1200/S7-1500. – Entry-ID: 109768880, V1.0, 10/2019. – 30 p.

References

1. Vvedenie v mehatroniku: uch. posobie / A.I. Grabchenko, V.B. Klepikov, V.L. Dobroskok i dr. – H.: NTU «HPI», 2014. – 264 p.

2. Tsvirkun L. I. Robototekhnika ta mekhatronika : navch. posib. / L. I. Tsvirkun, H. Hruler; pid zah. red. L. I. Tsvirkuna ; M-vo osvity i nauky Ukrainy, Derzh. vyshchyi navch. zakl. «Nats. him. un-t». - 3-tie vyd., pererob. i dop. - Dnipro : NHU, 2017. - 224 p.

3. Suchasni elektromekhatronni kompleksi i systemy : navch. posibnyk / T. P. Pavlenko, V. M. Shavkun, O. S. Kozlova, N. P. Lukashova ; Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova. – Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2019. – 116 p. ISBN 978-966-695-502-2.

4. Syntez robototekhnichnykh system v mashynobuduvanni / [L.Є.Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гаркавенко та ін.]. – К.: Інтерсервіс, 2016. – 258 p.

5. Rukovodstvo po programmirovaniyu S7-1200/S7-1500. STEP 7 (TIA Portal) i STEP 7 Safety v TIA Portal – Entry-ID: 81318674, V1.4, 11/2015. – 109 p.

6. Programmieruemyj kontrolller S7-1200. Sistemnoe rukovodstvo. 11/2009, A5E02669003-02.

7. Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh protsesiv : laboratornyi praktykum z dystsypliny dlia zdobuvachiv vyshchoi osvity spetsialnostei 133 «Haluzeve mashynobuduvannia»; 141 «Elektroenerhetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika»; 151 «Avtomatzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii» / uklad.: P. S. Maidan, D. A. Makaryshkin, E. O. Zolotenko, A. V. Buriak. – Khmelnytskyi : KhNU, 2021. – 116 p.

8. The Technology Objects (TO) of SIMATIC S7-1500(T). TIA Portal V14/SIMATIC S7-1500/SIMATIC S7-1500T. – Entry ID: 109743134, V1.0, 05/2017 – 60 p.

9. Moving PTO positioning axes of an S7-1200 as IO device centrally from an IO controller. SIMATIC S7-1200/S7-1500. – Entry-ID: 109768880, V1.0, 10/2019. – 30 p.

Рецензія/Peer review : 23.07.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

МАРТИНЮК Т. Б.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-9952-9438>e-mail: martyniuk.t.b@gmail.com

КОЖЕМ'ЯКО А. В.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7323-7146>e-mail: kvantron@gmail.com

КРУКІВСЬКИЙ Б. І.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-0788-3259>e-mail: smiletex11@gmail.com

БУДА А. Г.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-1055-1880>e-mail: antbu@ukr.net

АСОЦІАТИВНІ ОПЕРАЦІЇ НА БАЗІ РІЗНИЦЕВО-ЗРІЗОВОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ

Асоціативні операції знаходять ефективне застосування для вирішення таких прикладних задач, як сортування, пошук за певних ознак, визначення екстремальних (максимального/мінімального) елементів у масивах даних. Так, визначення максимального числа як результат сортування числового масиву є прийнятною операцією під час реалізації механізму конкуренції у нейронних мережах. Крім того, визначення середнього за величиною числа у числовому ряду шляхом сортування значно прискорює процес медіанної фільтрації зображень та сигналів. В цьому випадку реалізація медіанної фільтрації потребує застосування сортування з ранжуванням елементів масиву чисел. У даній роботі аналізуються можливості реалізації асоціативних операцій над елементами векторного (одновимірного) масиву чисел на базі обробки за різницевою зрізом (РЗ). Наведено спрощений опис РЗ обробки з виділенням загальної частини елементів вектора та різницевого зрізу, сформованого з його елементів. Крім того, задіяно елементи матриці бінарних масок як приклад матриці топологічних ознак. Запропонований підхід дозволяє сформувати ранги елементів початкового вектора як результат сортування за зростанням їх числових значень. У роботі показано схематичне відображення процесу РЗ обробки, а також наведено приклад РЗ обробки вектора чисел у вигляді таблиці, де показано послідовність формування елементів відсортованого масиву чисел, так і рангів чисел початкового масиву. Отже, запропоноване використання топологічних ознак дозволяє визначити порівняльні співвідношення між елементами числового масиву в процесі просторово-розподіленої РЗ обробки, а також підтвердити багатofункціональність такого підходу.

Ключові слова: різницевий зріз, сортування, ранг, асоціативна операція.

Tatiana MARTYNIUK, Andrii KOZHEMIKO, Bohdan KRUKIVSKYI, Antonina BUDA
Vinnytsia National Technical University

ASSOCIATIVE OPERATIONS BASED ON DIFFERENCE-SLICE DATA PROCESSING

Associative operations are effectively used to solve such application problems as sorting, searching for certain features, and identifying extreme (maximum/minimum) elements in data sets. Thus, determining the maximum number as a result of sorting a numerical array is an acceptable operation in implementing the competition mechanism in neural networks. In addition, determining the average number in a numerical series by sorting significantly speeds up the process of median filtering of images and signals. In this case, the implementation of median filtering requires the use of sorting with the ranking of the elements of the number array. This paper analyses the possibilities of associative operations implementing the elements of a vector (one-dimensional) array of numbers based on processing by difference slices (DS). A simplified description of DS processing with a selection of the common part of the elements of the vector and the difference slice formed from its elements is given. In addition, elements of the binary mask matrix are used as an example of a topological feature matrix. The proposed approach allows for the formation of the ranks of the elements of the initial vector, as a result of sorting in ascending order of their numerical values. The paper shows a schematic representation of the process of DS processing, as well as an example of DS processing of a number vector in the form of a table, which shows the formation sequence of numbers of the sorted array and the ranks of numbers of the initial array. Therefore, the proposed use of topological features allows to determine the comparative relations between the elements of the numerical array in the process of spatially distributed DS processing, as well as to confirm the versatility of this approach.

Keywords: difference slice, sorting, rank, associative operation.

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

Основні положення і можливості різницево-зрізової (РЗ) обробки достатньо докладно розглянуто у роботах [1–3]. В цих роботах в основному досліджено організацію паралельного багатоперандного підсумовування масиву чисел, оскільки така операція є базовою у багатьох прикладних задачах, які реалізуються в інтелектуальних системах [4, 5], зокрема, при апаратній побудові нейроструктур (нейрочипів) [6–8].

Аналіз досліджень та публікацій

Разом з тим, не зникає зацікавленість щодо вдосконалення існуючих та розробки нових методів та засобів асоціативної обробки масивів даних [9–11], до яких, у першу чергу, відносяться сортування та

пошук інформації [12–15]. Це пов'язано, не в останню чергу, з необхідністю швидкої апаратної реалізації, наприклад, медіанної фільтрації зображень [16], де переважним є застосування сортування елементів «ковзного вікна» для визначення середнього значення його центрального пікселя.

Крім того, залишається актуальною практична задача реалізації асоціативної пам'яті [17] та асоціативних процесорів [18], що пов'язано, зокрема з організацією таких нейромереж, як мережа Хопфілда, мережа Хеммінга та мережа ДАП [6, 7].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є аналіз можливостей різницево-зрізової обробки для реалізації асоціативних операцій над елементами векторного (одновимірної) масиву чисел.

Математична модель різницево-зрізової обробки векторних даних

Початковими даними при РЗ обробці є n -вимірний вектор \mathbf{a}_0 з елементами $a_{i,0}$. Як результат виконання асоціативних операцій над елементами вектора \mathbf{a}_0 необхідно відсортувати його елементи $a_{i,0}$ за умови зростання їх числових значень та визначити їх ранги за цієї ж умови.

У роботах [1, 2] дано визначення різницевого зрізу при векторній обробці даних. Отже, різницеvim зрізом називають вектор \mathbf{a}_j ($j = 1, N$), елементи якого $a_{i,j}$ ($i = 1, n$) формуються як різниця між відповідними елементами $a_{i,j-1}$ попереднього різницевого зрізу \mathbf{a}_{j-1} і внутрішнім пороговим елементом q_j .

Початковий вектор \mathbf{a}_0 будемо розглядати як початковий різницевий зріз, а сформовані в процесі ітераційної обробки вектори \mathbf{a}_j ($j = 1, N$) як проміжні, де N – кількість циклів РЗ обробки. Внутрішній пороговий елемент q_j впродовж j -го циклу обробки є величиною постійною і формується за певним правилом [1]. Для РЗ обробки прийнято, що внутрішній пороговий елемент q_j дорівнює значенню мінімального елемента $a_{i,j-1}$ вектора \mathbf{a}_{j-1} .

У роботах [1, 2] наведено математичну модель SM-перетворення, що базується на РЗ обробці векторних даних у вигляді виразів векторно-матричного перемноження, що дозволяє розглядати їх у контексті класичної теорії лінійних дискретних двовимірних перетворень [16]. Такий підхід використано з огляду на необхідність довести слушність прямих та обернених перетворень на базі РЗ обробки векторних даних, в результаті яких формується сума (згортка) S елементів вектора [1, 2], а також можливий процес відновлення елементів початкового вектора \mathbf{a}_0 [3]. Сам процес РЗ обробки представлено у вигляді покрокового алгоритму [1, 2].

В даній роботі пропонується спрощений опис РЗ обробки. Для цього необхідно ввести такі позначення, як $\text{com } \mathbf{a}_{j-1}$ – загальна частина елементів вектора \mathbf{a}_{j-1} і $\text{dif } \mathbf{a}_{j-1}$ – різницевий зріз, сформований з елементів вектора \mathbf{a}_{j-1} .

Тоді базові співвідношення РЗ обробки для вектора \mathbf{a}_{j-1} можна записати таким чином:

$$\text{com } \mathbf{a}_{j-1} = \min \{a_{i,j-1}\}_{i=1}^n = q_j, \quad (1)$$

$$\text{dif } \mathbf{a}_{j-1} = \mathbf{a}_{j-1} - \text{com } \mathbf{a}_{j-1} = \{a_{i,j-1} - q_j\}_{i=1}^n = \mathbf{a}_j. \quad (2)$$

Отже, співвідношення (1) стосується формування внутрішнього порогового елемента q_j , а співвідношення (2) – формування наступного різницевого зрізу \mathbf{a}_j .

Реалізація асоціативних операцій над елементами векторних даних

В процесі РЗ обробки на базі прямого SM-перетворення [1, 2] можна сформувати матрицю бінарних масок \mathbf{F} з елементами $f_{i,j}$ вигляду:

$$f_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } a_{ij} \geq 0, \\ 0, & \text{якщо } a_{ij} < 0. \end{cases} \quad (3)$$

Зважаючи на формулу (3), матрицю \mathbf{F} ще називають матрицею додатних ознак [2], яка містить n вектор-стовпців $\mathbf{f}_1, \dots, \mathbf{f}_n$ у відповідності до різницевих зрізів $\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_n$.

Схематично на рис. 1 наведено співвідношення між різницеvими зрізами \mathbf{a}_0 і $\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_n$, матрицею бінарних масок \mathbf{F} та вектором внутрішніх порогових елементів $\mathbf{q} = \{q_1, \dots, q_n\}$ та вектором рангів \mathbf{r} . Для прикладу на рис. 1 обрано випадок, коли всі n елементи $a_{i,0}$ початкового вектора \mathbf{a}_0 є різними за числовим значенням і не є нульовими. В цьому випадку кількість циклів N при РЗ обробці дорівнює $O(n)$ [1, 2].

Саме використання сформованих в процесі РЗ обробки елементів q_j вектора внутрішніх порогів \mathbf{q} та числових даних рядків матриці бінарних масок \mathbf{F} (рис. 1) дозволяє реалізувати такі асоціативні операції, як сортування елементів початкового вектора \mathbf{a}_0 та визначення їх рангів за умови зростання числових значень.

Для сортування елементів $a_{i,0}$ початкового вектора \mathbf{a}_0 можна використати співвідношення вигляду [1]:

$$a_{i,0}^s = \sum_{j=1}^i q_j, \quad (4)$$

де $a_{i,0}^s$ – i -й елемент у відсортованому векторі a_0^s . А для визначення рангів r_i елементів $a_{i,0}$ початкового вектора a_0 доцільно використати співвідношення:

$$r_i = \sum_{j=1}^n f_{i,j}, \quad (5)$$

оскільки за формулою (3) тільки невід'ємні значення відповідних елементів a_{ij} різницевого зрізу a_j формують одиничні значення у відповідних рядках матриці бінарних масок F .

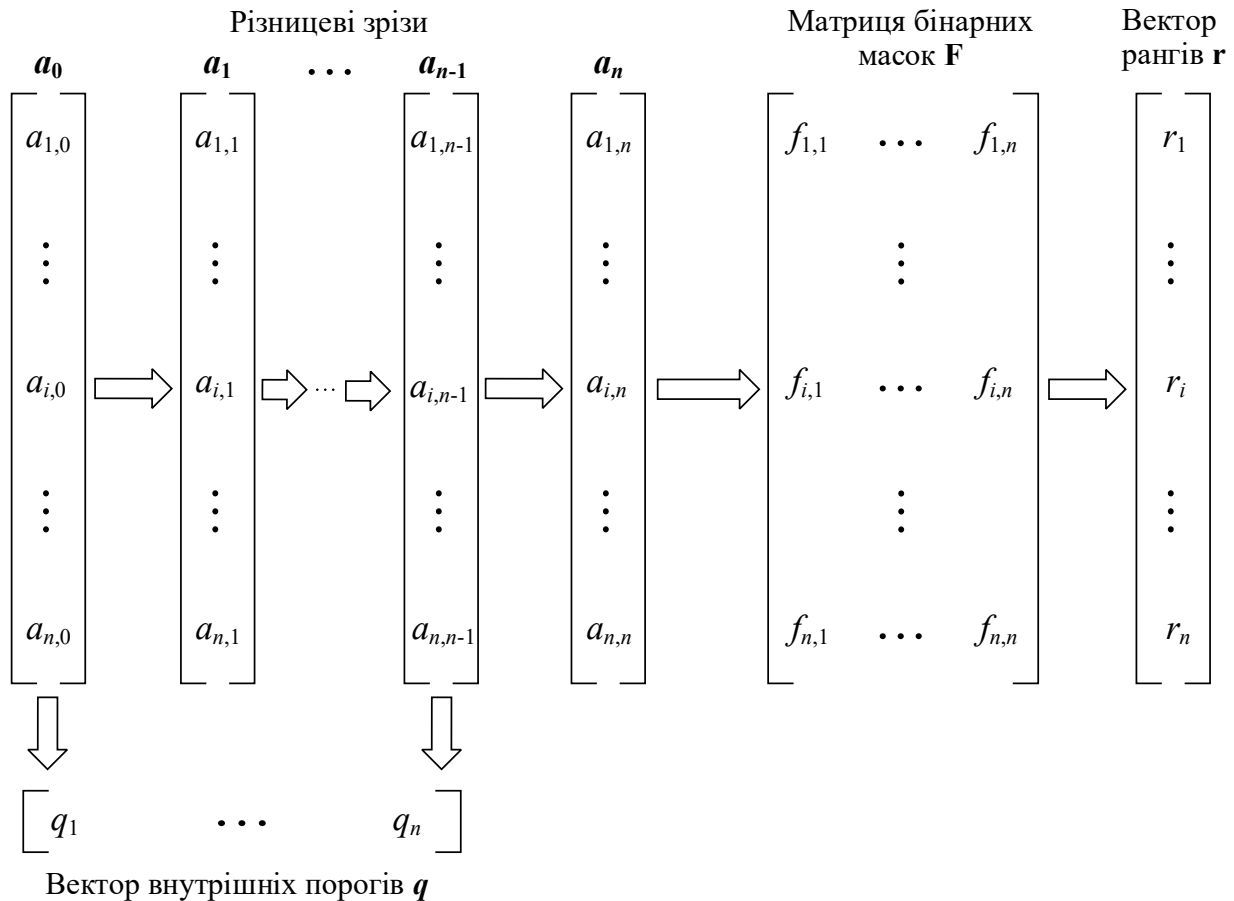


Рис. 1. Схематичне відображення процесу обробки за різницевою зрізом

Для підтвердження слушності виразу (5) наводиться у вигляді табл. 1 приклад РЗ обробки вектора a_0 з п'яти елементів. Знаком «-» позначено від'ємні елементи a_{ij} . Окремо показано формування відповідних рангів всіх елементів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Аналіз властивостей різницево-зрізової обробки векторних даних підтвердив багатофункціональність такого підходу через можливість в процесі прямого SM-перетворення отримати результати двох асоціативних операцій, а саме сортування з ранжування елементів початкового вектора за зростанням їх числових значень.

Для цих операцій задіяно результати, що формуються за аналізом і визначенням числових (внутрішніх порогових елементів) у вигляді вектора та бінарних (елементів бінарних масок) у вигляді матриці як ознак відповідних елементів проміжних різницевого зрізу.

Отже, використання топологічних матричних ознак у векторних масивах даних дає можливість забезпечити визначення порівняльних співвідношень між елементами вектора за їх числовими значеннями, тобто реалізувати асоціативні операції, які відносяться до необчислювальних операцій.

Крім того, можливість формування матриці бінарних масок F свідчить про просторово-розподілений характер різницево-зрізової обробки векторних даних.

Таблиця 1

Приклад різницево-зрізової обробки

Елементи різницевих зрізів a_i	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
$a_{1,j}$	11	8	6	3	0	-
$a_{2,j}$	3	0	-	-	-	-
$a_{3,j}$	5	2	0	-	-	-
$a_{4,j}$	8	5	3	0	-	-
$a_{5,j}$	15	12	10	7	4	0
Цикл обробки	1	2	3	4	5	6
Внутрішній поріг q_i	3	2	3	3	4	0
Відсортований елемент a_i^s	3	3+2=5	5+3=8	8+3=11	11+4=15	-
Елементи зрізів f_j матриці бінарних масок F і рангів r_i		f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
$f_{1,j}$		1	1	1	1	0
r_1		1	1+1=2	2+1=3	3+1=4	4
$f_{2,j}$		1	0	0	0	0
r_2		1	1	1	1	1
$f_{3,j}$		1	0	0	0	0
r_3		1	1+1=2	2	2	2
$f_{4,j}$		1	1	0	0	0
r_4		1	1+1=2	2+1=3	3	3
$f_{5,j}$		1	1	1	1	1
r_5		1	1+1=2	2+1=3	3+1=4	4+1=5

Література

1. Мартинюк Т.Б. Особенности математической модели дискретного SM-преобразования / Т.Б. Мартинюк, В.В. Хомюк // Математичні машини і системи. – 2010. – № 4. – С. 145–155.
2. Мартинюк Т. Аспекты разностно-срезовой обработки данных в нейроструктурах / Т. Мартинюк, Л. Куперштейн, А. Кожемяко. – LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2018. – 60 с. – ISBN 978-613-9-58622-6.
3. Мартинюк Т.Б. Різницево-зрізова обробка з використанням принципів модулярної арифметики / Т.Б. Мартинюк, А.В. Кожемяко, Л.М. Куперштейн // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 165–168.
4. Мартинюк Т.Б. Оперативно-элементный базис для интеллектуальных систем / Т.Б. Мартинюк, А.В. Кожемяко, Л.М. Куперштейн, О.С. Безкривний // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 6. – С. 197–201. – DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2019-279-6-197-201>
5. Цмоць І.Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби обробки сигналів і зображень в реальному часі / І.Г. Цмоць. – Львів : Видавництво УАД, 2005. – 228 с. – ISBN 966-322-024-4.
6. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский ; [пер. с польск.]. – Москва : Финансы и статистика, 2004. – 344 с.
7. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан ; [пер. с англ.]. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2001. – 288 с.
8. Martynyuk T.B. A Threshold Neuron Model Based on the Processing of Difference Slices / T.B. Martynyuk // Cybernetics and Systems Analysis. – 2005. – Volume 41, No 4. – P. 541–550.
9. Лорин Г. Сортировка и системы сортировки / Г. Лорин ; [пер. с англ.]. – Москва : Мир, 1983. – 384 с.
10. Яценко Е.А. Регулярные схемы алгоритмов адресной сортировки и поиска / Е.А. Яценко // Управляющие системы и машины. – 2004. – № 5. – С. 61–66.
11. Сэдзвик Р. Фундаментальные алгоритмы на C++. Анализ/ Структуры данных/ Сортировка/ Поиск / Р. Сэдзвик ; [пер. с англ.]. – СПб : ООО «ДиаСофтЮП», 2002. – 688 с. – ISBN 5-93772-047-4.
12. Цмоць І.Г. Алгоритми та паралельні структури сортування даних методом вставки / І.Г. Цмоць, В.Я. Антонів // Науковий вісник НЛТУ. – 2016. – № 26.1. – С. 340–350.
13. Цмоць І.Г. Паралельно-вертикальне сортування одновимірних даних методом злиття з використанням підрахунку / І.Г. Цмоць, В.Я. Антонів, В.О. Парубчак // Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці. – 2013. – Вип. 68. – С. 92–100.
14. Кнут Д.Э. Искусство программирования. Т. 3 Сортировка и поиск / Д.Э. Кнут ; [пер. с англ.]. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 832 с.
15. Martynyuk T.B. Peculiarities of the Parallel Sorting Algorithm with Rank Formation / T.B. Martynyuk, B.I. Krukovskiy // Cybernetics and Systems Analysis. – 2022. – Volume 58, No 1. – P. 24–28. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-022-00431-8>.
16. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт ; [пер. с англ.]. – Кн. 2. – Москва : Мир, 1982. – 480 с.

17. Кохонен Т. Ассоциативные запоминающие устройства / Т. Кохонен ; [пер. с англ.]. – Москва : Мир, 1982. – 384 с.
18. Тербер К.Дж. Архитектура высокопроизводительных вычислительных систем / К.Дж. Тербер ; [пер. с англ.]. – Москва : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1985. – 272 с.

References

1. Martynyuk T.B. Osobennosti matematicheskoy modeli diskretnogo SM-preobrazovaniya / T.B. Martynyuk, V.V. Homyuk // *Matematichni mashini i sistemi*. – 2010. – № 4. – S. 145–155.
2. Martynyuk T. Aspekty raznostno-srezovoy obrabotki dannyh v nejrostrukturah / T. Martynyuk, L. Kupershtein, A. Kozhemyako. – LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2018. – 60 c. – ISBN 978-613-9-58622-6.
3. Martyniuk T.B. Riznytsevo-zrizova obrobka z vykorystanniam pryntsyipiv moduliarnoi aryfmetyky / T.B. Martyniuk, A.V. Kozhemiako, L.M. Kupershtein // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. – 2015. – № 2. – S. 165–168.
4. Martyniuk T.B. Operatsiino-elementnyi bazys dlia intelektualnykh system / T.B. Martyniuk, A.V. Kozhemiako, L.M. Kupershtein, O.S. Bezkrivnyi // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. – 2019. – № 6. – S. 197–201. – DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2019-279-6-197-201>
5. Tsmots I.H. Informatsiini tekhnolohii ta spetsializovani zasoby obrobky syhnaliv i zobrazhen v realnomu chasi / I.H. Tsmots. – Lviv : Vydavnytstvo UAD, 2005. – 228 s. – ISBN 966-322-024-4.
6. Osovskij S. Nejronnye seti dlya obrabotki informacii / S. Osovskij ; [per. s polsk.]. – Moskva : Finansy i statistika, 2004. – 344 s.
7. Kallan R. Osnovnye koncepcii nejronnykh setej / R. Kallan ; [per. s angl.]. – Moskva : Izdatelskij dom «Vilyams», 2001. – 288 s.
8. Martynyuk T.B. A Threshold Neuron Model Based on the Processing of Difference Slices / T.B. Martynyuk // *Cybernetics and Systems Analysis*. – 2005. – Volume 41, No 4. – P. 541–550.
9. Lorin G. Sortirovka i sistemy sortirovki / G. Lorin ; [per. s angl.]. – Moskva : Mir, 1983. – 384 s.
10. Yacenko E.A. Regulyamye shemy algoritmov adresnoj sortirovki i poiska / E.A. Yacenko // *Upravlyayushie sistemy i mashiny*. – 2004. – № 5. – S. 61–66.
11. Sedzhvik R. Fundamentalnye algoritmy na C++. Analiz/ Struktury dannyh/ Sortirovka/ Poisk / R. Sedzhvik ; [per. s angl.]. – SPb : OOO «DiaSoftYuP», 2002. – 688 s. – ISBN 5-93772-047-4.
12. Tsmots I.H. Alhorytmy ta paralelni struktury sortuvannia danykh metodom vstavky / I.H. Tsmots, V.Ia. Antoniv // *Naukovyi visnyk NLTU*. – 2016. – № 26.1. – S. 340–350.
13. Tsmots I.H. Paralelno-vertikalne sortuvannia odnovymirnykh danykh metodom zlyttia z vykorystanniam pidrakhunku / I.H. Tsmots, V.Ia. Antoniv, V.O. Parubchak // *Zbirnyk naukovykh prats. Instytut problem modeliuvannia v enerhetytsi*. – 2013. – Vyp. 68. – S. 92–100.
14. Knut D.E. Iskustvo programmirovaniya. T. 3 Sortirovka i poisk / D.E. Knut ; [per. s angl.]. – Moskva : Izdatelskij dom «Vilyams», 2003. – 832 s.
15. Martynyuk T.B. Peculiarities of the Parallel Sorting Algorithm with Rank Formation / T.B. Martynyuk, B.I. Krukivskiy // *Cybernetics and Systems Analysis*. – 2022. – Volume 58, No 1. – P. 24–28. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-022-00431-8>.
16. Pretti U. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij / U. Pretti ; [per. s angl.]. – Kn. 2. – Moskva : Mir, 1982. – 480 s.
17. Kohonen T. Associativnye zapominayushie ustrojstva / T. Kohonen ; [per. s angl.]. – Moskva : Mir, 1982. – 384 s.
18. Terber K.Dzh. Arhitektura vysokoproizvoditelnykh vychislitelnykh sistem / K.Dzh. Terber ; [per. s angl.]. – Moskva : Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit.-ry, 1985. – 272 s.

Рецензія/Peer review : 16.07.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

МИЗЮК А. І.

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4238-8256>e-mail: ipserhiy@gmail.com

МАТЕМАТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ БУЛЬБИ З ЛОЖКОВИМ ТРАНСПОРТЕРОМ КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ

Аналізуючи в статті технологічні процеси висаджувальних апаратів картоплесаджалок можна стверджувати, що ложково-транспортний висаджувальний апарат в порівнянні з револьверним висаджувальним апаратом забезпечує менше травмування бульб картоплі оскільки контактування відбувається в момент розкладки бульб на ложечки і в момент падіння на дно відкритої борозни з ложечки з мінімальної висоти. Тоді як у револьверному висоті і швидкості падіння вище.

Аналіз залежності показав, що з підвищенням швидкості руху картоплесаджалки до 6,2 м/с травмування бульб зростає з 15 до 31%. З дослідження видно, що при зміні швидкості руху транспортера з 0,4 до 1,8 м/с відбувається збільшення пропусків бульб у борозні (до 3%; 2,4%; 2,2% при кроці 0,25 м; 0,32 м та 0,4 м), тобто ложечки перестають їх стійко захоплювати з ковша.

Ключові слова: транспортер, картопля, бульби, протруювання, садіння.

Andrii MYZYUK

Vinnytsia National Agrarian University

MATHEMATICAL SUBSTANTIATION OF THE INTERACTION OF THE TUBE WITH THE BOTTLE CONVEYOR OF THE POTATO PLANTER

The planting machines of the manufactured potato planters are mostly not in fully comply with agrotechnical requirements. Based on the analysis modern designs of planting machines, a conclusion was made about the advantages and shortcomings of existing designs of potato planters. The big disadvantage that especially affects crop yields, is low uniformity distribution of potato tubers along the length of the row, as well as the depth of planting. Wherein deterioration in the distribution of potato tubers occurs mainly at the time ejection of potatoes to the bottom of the furrow due to the rolling of tubers along its bottom. Big impact on fit quality potatoes by mechanization provides uniform distribution potatoes along the bottom of the furrow. Sustainable disallocation of tubers when planting existing significantly affects the crop yield, because in this case, the feeding area is formed niya for growing potatoes. Compliance even distribution of seed material is a priority when designing planters. Modern planting machines are far from being fully compatible with imposed agrotechnical requirements for the distribution of planting material.

Analyzing the technological processes of potato planters, it can be argued that the spoon-conveyor planter in comparison with the revolving planter provides less injury to potato tubers because contact occurs at the time of laying the tubers on spoons and when falling to the bottom of the hole. Whereas in the revolver the height and rate of fall are higher.

The analysis of dependence showed that with increasing the speed of the potato planter to 6.2 m / s injury of tubers increases from 15 to 31%. The study shows that when changing the speed of the conveyor from 0.4 to 1.8 m / s there is an increase in the gaps of tubers in the furrow (up to 3%; 2.4%; 2.2% at a step of 0.25 m; 0, 32 m and 0.4 m), ie. spoons cease to capture them steadily from the bucket.

Key words: conveyor, potatoes, tubers, pickling, planting.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

При проектуванні машин для посадки бульб картоплі необхідно виконати розрахунок основних параметрів їх механізмів. Існують специфічні особливості фізико-механічних властивостей бульб у поєднанні з якістю виконання процесу посадки. А саме теоретичні дослідження полягають у тому, щоб знайти необхідні залежності між конструктивними та кінематичними параметрами ложкового транспортера висаджувального та поживного апаратів, взаємодії їх з бульбою та робочою рідиною, а також розробити методику їх розрахунку. Розробка такої методики можлива за наявності теоретичних та експериментальних досліджень роботи висаджувального апарату.

Аналіз досліджень та публікацій

Процес захоплення бульб картоплі вимагає визначення геометричних та кінематичних параметрів транспортного посадкового апарату, що забезпечують їх надійне утримання в ложечках, а отже, і запобігання пропусків при посадці. Крім того важливо вивчити процес взаємодії ложечки з бульбами і визначити параметри найменшого впливу, також знайти надійне захоплення бульб. Пошукові дослідження висаджувального апарату дозволили обґрунтувати перспективну конструктивно-технологічну схему ложково-транспортного висаджувального апарату, технологічний процес якого необхідно більш детально дослідити.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: математичне обґрунтування взаємодії бульби з ложковим транспортером при посадці картоплі.

Виклад основного матеріалу

При посадці бульб картоплі за допомогою картоплесаджальної машини потрібне технічне рішення, що дозволяє з одного боку - забезпечити збереження якості бульб, з іншого - їх протруювання. Рішенням поставленої задачі є технологічний процес, що включає в себе подачу бульб з бункера під форсунки, що протруює, захоплення бульб ложечками дворядного ложечно-транспортного посадкового апарату і транспортування бульби в зону скидання в борозну. Як протруювальну рідину використовують розчин контактного фунгіциду в сольовому розчині, щільність якого перевищує питому вагу бульб, щонайменше $1,16 \text{ г/см}^3$.

Виклад основного матеріалу.

У момент виходу лопатки транспортера висаджувачого апарату на поверхню та момент протруювання, існує небезпека «викиду» бульби за її межі. Визначимо умови, за яких захоплюваний бульба буде надійно утримуватися в ложечці.

Вважатимемо, що бульба являє собою кулю з еквівалентним радіусом r^2 . У статичному стані, перебуваючи на поверхні рідини (рис. 1) бульба знаходиться під дією ваги G і архімедової сили P_A . Умова рівноваги щодо вертикальної осі Z має вигляд:

$$G = P_A, \quad (1)$$

$$G = \rho_T g W_T = \rho_T g \frac{4}{3} \pi r_2^3 \quad (2)$$

$$P_A = \rho g W_{\text{погр}} \quad (3)$$

$$4r_2^3 \left(1 - \frac{\rho_T}{\rho} \right) = h_1^2 (3r_2 - h_1) \quad (4)$$

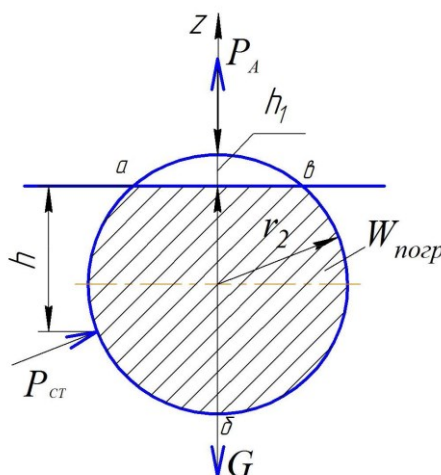


Рис. 1 Схема до визначення сил, що діють на оброблену бульбу

Вираз (3) дозволяє визначити вихід бульби на поверхню h_1 за заданого значення відношення ρ_T/ρ і величини радіуса r^2 . У статичному стані бульба знаходиться під дією сили тиску рідини, величина якої в довільній точці поверхні бульби дорівнює $P_{cm} = \rho gh$. Результатом дії сили статичного тиску на оброблену поверхню бульби є архімедова сила P_A , яка врівноважувала вагу бульби G .

При підході ложечки, що обертається, до бульби частина його поверхні abv занурюється всередину ложечки (рис. 2). Перетин бульби на рівні майданчика 1-1 становить у цей момент площу S_1 . І на поверхню ложечки, окрім сил статичного тиску, починають діяти сили гідродинамічного тиску, які проєктуються на вертикальний напрямок Z і викликають підйом бульби над вільною поверхнею (збільшення h_1). Гідродинамічний тиск у довільній точці рідини усередині ложечки визначається двома факторами. З одного боку, на рідину, що обертається разом з ложечкою з кутовою швидкістю ω діє прискорення відцентрових сил інерції:

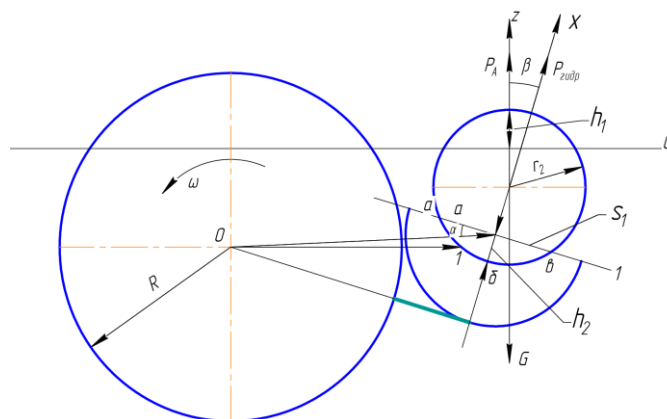


Рис. 2. Схема визначення сил під час захоплення бульби ЛОЖЕЧКОЮ

$$j = w^2 y = vw; v = wy \quad (4)$$

де v - лінійна швидкість руху точки 1. В результаті в точці 1 діє відцентровий тиск:

$$P_y = \rho \frac{w^2 y^2}{2} = \rho \frac{v^2}{2} \quad (5)$$

З іншого боку, в системі координат жорстко пов'язаної з ложечкою, відбувається гальмування потоку, що набігає та має швидкість v . $v = wy$

В результаті в точці 1 виникає додатковий динамічний тиск.

При русі ложечки відбувається зміна як величини майданчика S_l , так і кута β . Максимальна величина $(P_{\text{відп}})Z$ буде при $h_2=r_2$ та $\beta=0$. Для виконання цих умов необхідно задатися параметрами ложечки та величиною насінневого матеріалу.

Прийmemo припущення, що бульба розташовується симетрично щодо ложечки. Умова рівноваги сил уздовж вертикальної осі Z :

$$P_A + P_{\text{відп}} = G \quad (6)$$

Визначаємо дані сили:

$$G = \rho_T g \frac{4}{3} \pi r_2^3$$

$$P_A = \rho g \frac{4}{3} \pi r_2^3 - \frac{1}{3} \rho g \pi h_1^2 (3r_2 - h_1)$$

$$P_{\text{відп}} = \rho v_c^2 \pi r_2^2 \quad (7)$$

$$v_c^2 = \frac{1}{3} g \left[\frac{h_1^2}{r_2^2} (3r_2 - h_1) - 4r_2 \left(1 - \frac{\rho_T}{\rho} \right) \right] \quad (8)$$

Використовуючи цей вираз, слід враховувати, що ложечка, рухаючись до вільної поверхні, повертається на деякий кут β . Тому попередній вираз правильніше записати у вигляді:

$$(v_c)_{r_2} = \sqrt{\frac{4gr_2 \left(\frac{\rho_T}{\rho} - \frac{1}{2} \right)}{3 \cos \beta}} \quad (9)$$

Вплив радіуса бульби на швидкість руху ложечки показаний на графіку.

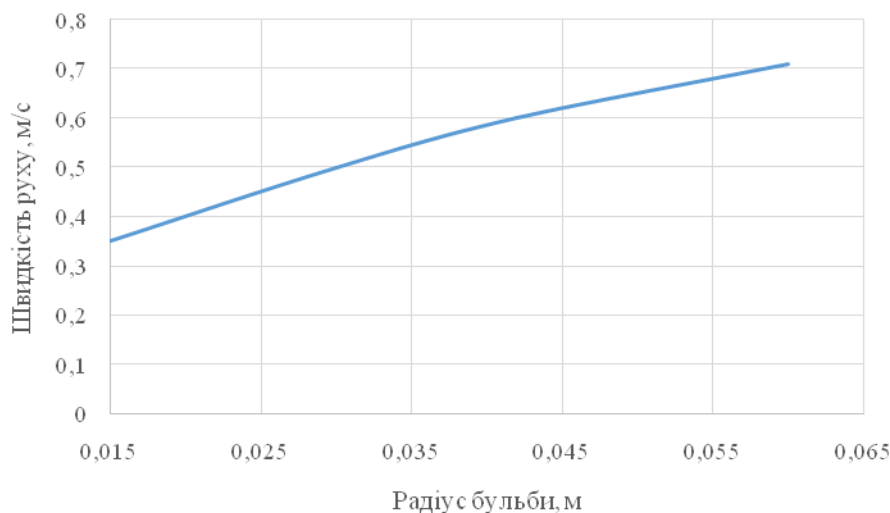


Рис. 3. Графік швидкості руху ложечки в залежності від розміру бульби

На графіку видно, що радіус бульби та швидкість руху мають квадратичну залежність, тобто зі збільшенням радіуса бульби, збільшується швидкість руху бульби при взаємодії з ложечкою.

Таким чином, нами визначено швидкість руху ложечки транспортера, при якій відбувається захоплення та переміщення бульби.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Визначено швидкість руху ложечки транспортера, при якій відбувається захоплення та переміщення бульби, величину результуючої відцентрової сили, при якій бульба надійно фіксується в ложечці виходячи

на верхню точку. Встановлено час повного спорожнення ложечки при заданих параметрах швидкості руху транспортера, розмірів ложечки, діаметра отворів, усередненого діаметра бульб та коефіцієнта витрати.

Література

1. Бакум М. В. Проектування сільськогосподарських машин [Текст]: Бакум М. В., Нікітін С. П., Сергєєва А. В. / за ред. М. В. Бакума. - Харків : ХДТУСГ, 2003. - 336 с.
2. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. 2-е вид. - К.: Каравела, 2008.-С.13-22.
3. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. - К.: Вища освіта, 2004.Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб. пособие для техникумов. – М.: Высш. шк., 1991. - 432 с
4. Економічний розвиток національного господарства України: особливості та моделі в умовах постіндустріального суспільства: монографія / О. В. Пирог ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2013. — 336 с. : іл., табл. — Бібліогр.: с. 285—306 (330 назв). — ISBN 978-617-607-410-6.
5. Оцінка екологічності нафтового палива та біопалива з використанням методології повного життєвого циклу / І.В. Гунько, С.А. Бурлака, і А.П. Єленич // Вісник Хмельницького національного університету — т. 2 — No 6 — 2018 — с. 246-249,

References

1. Bakum MV Design of agricultural machinery [Text]: Bakum MV, Nikitin SP, Sergeeva AV / ed. MV Bakuma. - Kharkiv: KhDTUSG, 2003. - 336 p.
2. Voytiuk DG, Gavriluk GR Agricultural machinery. 2nd type. - K. : Karavela, 2008.-C.13-22.
3. Agricultural and reclamation machines: Textbook / D.G. Войтюк, В.О. Dubrovin, T.D. Ishchenko and others; For the order. DG Voytuk. - K. : Higher education, 2004. Sheinblit AE Course design of machine parts: Textbook. manual for technical schools. - M. : Higher. shk .., 1991. - 432 p
4. Economic development of the national economy of Ukraine: features and models in the post-industrial society: a monograph / O.V. Pirog; Ministry of Education and Science of Ukraine, Nat. Lviv University Polytechnic ". - Lviv: Lviv Publishing House. Polytechnic University, 2013. - 336 p. : ill., table. - Bibliogr. : p. 285—306 (330 titles). - ISBN 978-617-607-410-6.
5. Evaluation of environmental friendliness of petroleum fuel and biofuels using the methodology of the full life cycle / I.V. Hunko, C.A. Burlak, and A.P. Yelenych // Herald of the Khmelnytsky National University - vol. 2 - No 6 - 2018 - p. 246-249.

Рецензія/Peer review : 23.07.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

МИХАЙЛОВСЬКА О. А.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5025-6571>e-mail: mykhailovskao@khmnu.edu.ua**ЛОБАНОВА Г.Є.**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6192-8131>e-mail: lobanovah@khmnu.edu.ua**СОЛТИК І. Т.**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-3696-0201>e-mail: soltyki@khmnu.edu.ua**НАДОПТА Т. А.**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9338-7827>e-mail: nadoptate@khmnu.edu.ua

РОЗРОБКА КОМФОРТНОГО ВЗУТТЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ІНВАЛІДНІСТЮ

У статті розглянуті категорії людей з інвалідністю, для яких існують особливі труднощі при потраплянні стопи чи протеза у взуття або при його фіксації на нозі.

На основі результатів анкетування щодо зручності та комфортності взуття для людей з інвалідністю розроблено модель напівчеревику спортивного типу, яка забезпечуватиме зручність потрапляння стопи чи протезу у взуття за рахунок поєднання використання таких конструктивних рішень як глухий клапан з петлею для фіксації шнурівки, застібка «блискавка» зі спеціальним пристосуванням для її функціонування та шнуркова застібка.

Використання такого взуття у повсякденному житті дозволить людям з інвалідністю бути самостійними та мобільними.

Ключові слова: спеціальне взуття, комфортне взуття, стопа, протез, спосіб застібання, глухий клапан, інвалідність.

Oksana MYKHAILOVSKA, Halyna LOBANOVA, Inna SOLTYK, Tetyana NADOPTA
Khmelnitskyi National University

DEVELOPMENT OF COMFORTABLE SHOES FOR PEOPLE WITH DISABILITIES

A physically healthy person has no problem putting on shoes or getting dressed daily. Meanwhile, the same issue for people with disabilities is often considerable discomfort or complete inability to perform this task independently.

A survey, which allows us to obtain the most reliable information in the required amount, was conducted to determine the consumer's priority requirements when choosing shoes for people with disabilities. This information was used to create the improved footwear design for this group of consumers. The development of comfortable footwear for people with disabilities should provide ergonomic and aesthetic features of the design, take into account the anatomical and morphological characteristics of the feet in the design, and be based on typical technological processes, without radical reorganization of production.

The footwear for people with disabilities during prosthetics of the lower limb should provide easy penetration of the foot prosthesis into the shoe. That means that this footwear should be pretty spacious in design. There is also a problem with fastening clothes and shoes in the case of prosthetics of the upper limb. Therefore, the method of fastening special shoes should also be convenient and meet the needs of people with disabilities.

A model of the footwear of the sports style was designed based on research and review of the modern market of orthopedic footwear, which will provide the comfort of the foot or prosthesis in the shoe by combining the use of structural elements such as a blind valve with a loop for fixing lacing, zipper and lacing.

Keywords: special shoes, comfortable shoes, foot, prosthesis, fastening method, blind valve, disability.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

У нашій країні люди з інвалідністю забезпечуються державою технічними та іншими засобами реабілітації. Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 14.04.2021 № 362 «Про внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 5 квітня 2012 р. № 321» [1] до технічних та інших засобів реабілітації, якими забезпечуються особи з інвалідністю, діти з інвалідністю та окремі категорії населення, належать також і протезно-ортопедичні вироби, у тому числі взуття. Дуже часто ортопедичне взуття, призначене для осіб з інвалідністю, багато в чому не задовольняє споживача.

Багато людей з різних причин втрачають нижню чи верхню кінцівку, або мають вроджені чи набуті протягом життя обмеження їх функціональності.

Згідно з даними Центру досліджень церебрального паралічу (ЦП) в Європі (The Surveillance of Cerebral Palsy in Europe – SCPE) залежно від того, яка частина тіла уражається, спастичні форми ЦП поділяються на [2]:

- моноплегія (уражена одна кінцівка, найчастіше рука);
- геміплегія (одна сторона тіла, при цьому рука більше ноги);

- диплегія (уражені обидві ноги, легко чи помірно страждають руки);
- тетраплегія (тяжке ураження ніг і рук, часто з порушенням функції тулуба та залученням мускулатури ротоглотки).

Спастичні форми є найпоширенішими, на них припадає близько 70-80% всіх випадків.

Є багато причин, які призводять до парезів кінцівок, унаслідок чого в людини ускладнюється процес самообслуговування. Парез (грец. paresis – послаблення, розслаблення) – зниження м'язової сили в кінцівках, унаслідок чого довільні рухи можливі, але їх обсяг і сила значно знижені [3]. Етіологія парезів різноманітна: інсульт, черепно-мозкова травма, пухлини мозку, ураження спинного мозку, полінейропатії внаслідок вірусних інфекцій (герпесу, кору, грипу, ентеровірусів, аденовірусів), інтоксикацій, алергій, метаболічних і судинних порушень, авітамінозів групи В тощо. Водночас зростає кількість ампутацій нижніх кінцівок, пов'язаних з ускладненим цукровим діабетом.

Війна в Україні в рази збільшила кількість ампутацій кінцівок, викликаних пораненнями. Колись солдат, що втратив на війні кінцівку, був змушений до кінця свого життя шкутильгати, спираючись на важкий дерев'яний протез, або ж не міг потиснути правицю. Проте, людство позбулося цих проблем: нині травмовані в битвах військові з успіхом пробігають на спеціальних протезах марафонські дистанції. До чоловіків, що втратили кінцівки чи зазнали поранень і травмувань під час бойових дій в зоні АТО (ООС), починаючи з 2014 року, або російсько-українській війні 2022 року, повинна бути у суспільстві особливі шана й повага. Ці люди мають бути забезпечені усім необхідним для того, щоб не відчувати обмежень в подальшому своєму житті [4].

Очевидно, що переважна більшість людей з інвалідністю, які з різних причин втратили нижню чи верхню кінцівку, або мають вроджені чи набуті протягом життя втрати їх функціональності, відповідно втрачають свою життєву самостійність та мобільність, відчуваючи чималий дискомфорт і мають необхідність допомоги у звичайних для фізично здорової людини потребах взутися чи одягнутися. Проблема ускладнюється недосконалістю існуючих конструкцій на сучасному ринку спеціального взуття для цієї категорії споживачів.

Аналіз останніх джерел

Незважаючи на інтерактивний розвиток напряму проектування взуття для людей з інвалідністю, немає цілісності розгляду проблеми розробки спеціальних конструкцій, оскільки дослідження присвячені вирішенню окремих завдань.

Зокрема, автором [5] проаналізовано функціональні порушення опорно-рухового апарату, які найчастіше трапляються в дітей і молоді та розроблено концепції профілактики і корекції функціональних порушень опорно-рухового апарату в дітей та молоді.

Авторами [6, 7] проаналізовано першочергові показники, які мають суттєвий вплив на вибір спеціального взуття, та спроектовано взуття спеціального призначення в програмному комплексі Delcam Crispin для людей, які зазнали ушкоджень нижніх кінцівок. У [8] виявлені конструктивні особливості та технологічні процеси виготовлення взуття спеціального призначення, зокрема, і ортопедичного, розробленого асортименту з використанням різних матеріалів для деталей верху, низу і проміжних деталей. Також розглянуті засоби та пристосування для застібання такого взуття: за допомогою магнітів; застібок velcro (велкро) (текстильна застібка – загально відома як липучка, що діє за принципом реп'яха); застібок «блискавка», які можна зафіксувати за допомогою спеціального пристосування у вигляді пластикової зручної ручки з гачком, що дозволяє зачепити бігунок «блискавки» і рухом в ту чи іншу сторону застібнути або розстібнути її, спростивши процес взування [9,10]. У науковій роботі [11] запропоновано класифікацію конструкцій спеціального ортопедичного взуття для людей, котрі мають деформації і функціональні порушення тазу і нижніх кінцівок. У науковій роботі [12] розроблено основи профілактично-медичної колодки, коригувальних ортопедичних розвантажувальних коректорів стоп і взуття на підставі антропометричних і біомеханічних досліджень пацієнтів з синдромом діабетичної стопи.

Також, у [13] проаналізовано та доведено, що дизайн є актуальним у багатьох галузях промисловості, у тому числі у виробництві взуттєвих виробів спеціального призначення, та сприяє кращій реабілітації та сприйняттю навколишнього світу. Запропоновано [14] використовувати сучасні методи отримання інформації про стопи, на основі яких проектувати спеціальне взуття.

В ході аналізу літератури з теми протезування нижньої кінцівки, встановлено [15]: для того щоб протез ноги не зношувався і не бруднився, а також щоб кінцівка виглядала природно, то потрібно на протез стопи одягати звичайне взуття. Але потрібно пам'ятати, що не будь-яке взуття можна використовувати з протезами.

При проектуванні та виготовленні взуття для осіб із протезами нижніх кінцівок необхідно дотримуватись наступних вимог:

- взуття повинно бути з жорстким та низьким каблуком, щоб забезпечити нозі стійкість, а це вкрай важливо для тих пацієнтів, які ще не опанували свого протезу;
- взуття на різні сезони для протеза має бути з однаковою висотою каблука, інакше користувачеві доведеться змінювати ходу і пристосовуватися до кожної нової пари;
- не використовувати взуття на високих каблуках, тому що через знижений контроль штучна кінцівка легко може підвернутися;

- на взуття зі шкіряною підшвою ставлять відразу протектор, оскільки підшва не повинна бути слизькою.

Загалом підбір взуття на протез при односторонній ампутації залежить від характеру та рівня ампутації [15] і повинен відповідати ряду таких вимог:

- ергономіка взуття на протез не повинна перешкоджати нормальному функціонуванню кінцівки, що збереглася, обмежувати її рухливість;
- таке взуття не повинне обмежувати і рухливість самого протеза – особливо це важливо у разі механічних тягових протезів;
- також не варто підбирати взуття впритул до розміру протеза стопи, щоб його простіше було надягнути без ризику пошкодити протез;
- підшва повинна бути зносостійкою і в той же час гнучкою, що спрощує пересування на протезі;
- задник повинен бути твердим, але мати пом'якшення на внутрішній стороні;
- поверхня підшви не слизька, з коефіцієнтом тертя $\mu > 0,5$;
- плоска вкладна устілка, яку можна виймати;
- естетичний зовнішній вигляд взуття.

Формулювання цілей статті

Проблема втрати мобільності та самостійності людьми з інвалідністю, зокрема для тих, хто втратив нижню чи верхню кінцівку, або мають вроджені чи набуті протягом життя обмеження їх функціональності, може бути частково вирішена на етапі проектування взуття чи одягу. Саме тому завданням представленої роботи є розробка спеціального взуття для людей з інвалідністю, яке буде зручним для потрапляння стопи (протеза стопи) всередину взуття та легко фіксуватиметься на стопі чи протезі. Розробка такого взуття повинна забезпечити ергономічні та естетичні особливості конструкції, враховувати анатомо-морфологічні особливості стоп людей з інвалідністю, та ґрунтуватися на типових технологічних процесах, без кардинального переоснащення виробництва.

З огляду на вище зазначене, актуальним постає завдання проектування універсальної конструкції комфортного взуття для людей з інвалідністю, яка враховувала б особливості фізичного стану та рухів, ергономічні та естетичні вимоги споживачів за допомогою сучасних методів проектування.

Виклад основного матеріалу

Основний напрямок у проектуванні взуття повинен бути підпорядкованим інтересам самого споживача. Модельєри взуття, враховуючи вимоги щодо виробів, повинні постійно пам'ятати, в першу чергу, про його функціональність, зручність при експлуатації, особливо коли це стосується людей з інвалідністю.

Для отримання інформації щодо пріоритетних вимог споживача при виборі взуття для людей з інвалідністю, проведено дослідження експертним методом, який дає можливість отримати найбільш достовірну інформацію у необхідному обсязі [16]. Розроблена анкета включає в себе перелік основних споживчих властивостей взуття з короткою характеристикою, на які в першу чергу звертають увагу люди з інвалідністю. Цю інформацію планувалося використати при створенні удосконаленої конструкції взуття для даної групи споживачів. Опитування респондентів (людей з інвалідністю) було проведено на підприємстві «Орто-Крок» ЛОГО «ПІЛ», яке спеціалізується на виготовленні протезів та ортезів нижніх кінцівок найвищої якості та ортопедичного взуття. Основна частина анкети містить взаємопов'язані питання, чіткі та зрозумілі, що не могли би вплинути на поведінку особи, яку буде опитано, із врахуванням статі та віку респондента.

Для проведення достовірних і якісних досліджень анкетування спочатку було виконано математичні розрахунки ймовірності вибірки для його проведення. Кількість респондентів мінімально достатніх для проведення досліджень розраховується як:

$$n = \frac{\delta^2 \cdot z_{\alpha/2}^2}{d^2}, \quad (1)$$

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 72 особи.

Респондентам – людям з інвалідністю, запропоновано вибрати споживчі показники, які найбільше впливають на вибір взуття та їх характеристики: вид взуття (черевики, напівчеревики, туфлі); зручність одягання (наявність пристосувань, недостатнє розкривання взуття, зминання язичка, складність шнурування); спосіб закріплення на стопі (шнурівка, застібка “блискавка”, стрічка “Velcro”, еластична тасьма, магніти); матеріали верху (натуральна шкіра, текстильні матеріали); матеріали низу (пори́ста гума, поліуретан (ПУ), термоеластопласт (ТЕП); зовнішній вигляд (кольорова гама, фактура матеріалу), фурнітура. Встановлено найбільш вагомні показники споживчих властивостей, які впливають на вибір взуття людьми з інвалідністю. Результати цього опитування представлені на рисунку 1.

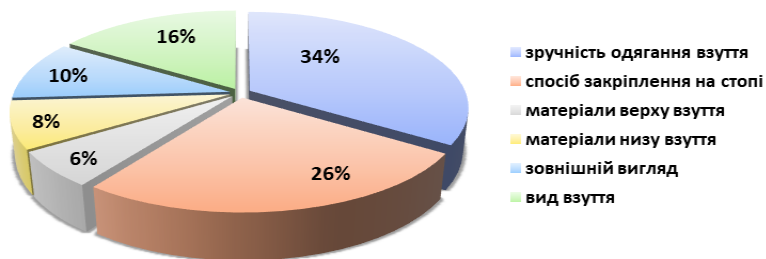


Рис. 1. Розподіл вимог споживачів при виборі взуття для людей з інвалідністю

Аналіз результатів проведеного опитування показав, що для людей з інвалідністю найвагомішими виявилися показники “зручність одягання взуття” – 40 % та “спосіб закріплення на стопі” – 32 %. Значний відсоток респондентів (16 %) приділяють увагу вибору виду взуття. Найменший відсоток людей з інвалідністю – 6 % та 8 % – звертають увагу, насамперед, на матеріали верху та низу взуття, оскільки якість цих матеріалів достатньо висока і задовольняє їх вимоги.

Дуже важливим для людей з інвалідністю виявився показник “спосіб закріплення на стопі”, причому вибір опитуваних значно розділився (рис. 2).

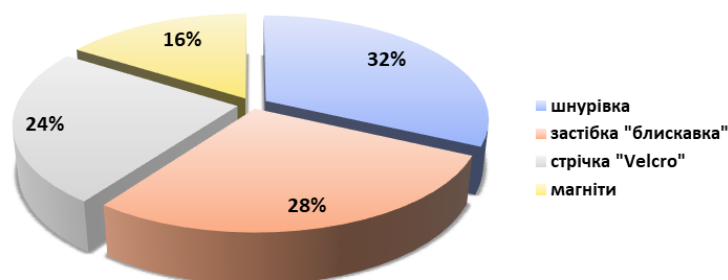


Рис. 2. Вибір споживачами способу закріплення взуття на стопі для людей з інвалідністю

Респонденти, які надали перевагу шнурівці – 32 %, аргументували свій вибір можливістю регулювати внутрішній об'єм та ступінь облягання стопи взуттям. Споживачі зауважили на неможливості зміни внутрішнього об'єму взуття за допомогою застібки «бліскавка». Проте, цей спосіб закріплення взуття на стопі спрощує сам процес застібання, тому його вибрали 28 % респондентів. 24 % опитуваних надали перевагу способу закріплення взуття на стопі за допомогою стрічки “Velcro”. Це дуже зручний спосіб застібання, проте стрічка “Velcro” швидко зношується, і втрачає ефективність закріплення взуття. Найменш зручним (за результатами опитування) виявився спосіб закріплення взуття на стопі за допомогою магнітів – 16 %, оскільки абсолютно немає можливості регулювання внутрішнього об'єму взуття.

Практично всі респонденти відзначили важливість показника зручності одягання взуття для людей з інвалідністю (рис.3).

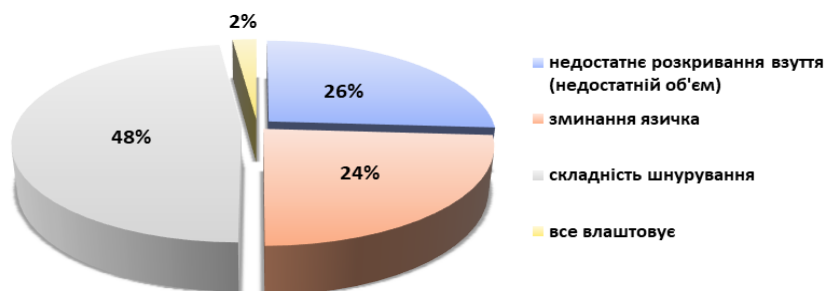


Рис. 3. Оцінка споживачами показника зручності одягання взуття для людей з інвалідністю

При опрацюванні анкет опитуваних виявлено, що складність виникає саме при одяганні взуття людьми з інвалідністю: найбільший відсоток – при шнуруванні – 48 % (цей недолік відзначили люди, які втратили одну верхню кінцівку); для 26 % респондентів – виникає проблема при недостатньому розкриванні взуття (недостатній об'єм), 24 % – скаржаться на зминання язичка. Лише у 2 % людей не було зауважень щодо зручності одягання взуття.

За результатами анкетування щодо вибору виду взуття, комфортного для людей з інвалідністю, можна констатувати, що напівчеревики є найпопулярнішими – 46 % опитуваних, незалежно від статі та віку віддали їм перевагу.

Інформація, отримана за результатами опитування, дозволить детальніше визначити, які саме споживчі показники потрібно враховувати при розробці асортименту взуття для людей з інвалідністю.

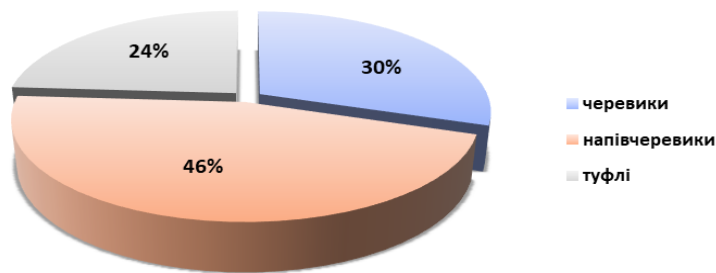


Рис. 4. Вибір респондентами виду взуття

На основі проведеного опитування та аналізу потреб людей з інвалідністю, огляду сучасного ринку ортопедичного взуття, запропоновано моделі напівчеревиків для людей з інвалідністю, які базуються на цілісному системному підході до задачі проектування взуття для людей з інвалідністю, з використанням методів соціологічних досліджень, анатомо-морфологічних особливостей та теоретичних основ розробки конструкцій взуття.

При проектуванні взуття для людей з інвалідністю використовувались матеріали [17, 18]. Моделі напівчеревиків спортивного типу, що пропонуються, забезпечуватимуть зручність потрапляння стопи (чи протезу) у взуття за рахунок поєднання використання таких конструктивних рішень як: глухий клапан, застібка «блискавка» та застібання за допомогою шнурівки. Безпосередньо конструкція напівчеревиків передбачає занижене положення точки вирізу союзки (надблочника) на 10 мм порівняно з типовими класичними конструкціями напівчеревиків, що дозволить збільшувати внутрішній об'єм взуття в пучковій частині. Збільшувати внутрішній об'єм взуття та водночас регулювати ступінь облягання взуттям стопи дозволить збільшена до 25 мм відстань між верхньо-передніми краями надблочників.

Шнурівка, хоча не підходить для щоразового використання людьми з інвалідністю, проте дає можливість першопочатково відрегулювати і створити зручний для стопи чи протеза об'єм взуття, надалі використовуючи лише двобічні застібки «блискавка» для одягання та остаточної фіксації взуття на стопі. Для полегшення застібання застібок «блискавка» призначене спеціальне пристосування, забезпечене гачком з одного боку і петлею з іншого, призначене для людей з інвалідністю з ампутованою рукою, або з порушеннями дрібної моторики тощо. Для того, щоб зафіксувати взуття на стопі, треба просунути гачок пристосування в спеціальне кільце на застібці-блискавка, і потягнути на себе.

В запропонованій конструкції напівчеревиків замість язичка застосовуватиметься глухий клапан, положення якого на підйомі стопи фіксується шнурівкою, що протягується через настроєну на клапан петлю (або петлі), та пристроюється до берців по нижньому краю вирізу під блискавку. Усе це убезпечує від затягування клапана всередину взуття і сприяє захисту стопи від тиску шнурівки, блочок та «блискавок» одночасно. Використання такого взуття у повсякденному житті дозволить людям з інвалідністю бути самостійними та мобільними.

Розроблено асортиментний ряд напівчеревиків (рис. 5), з якого для проектування обрано модель (рис. 6) та спроектовано ґрунт-модель верху напівчеревика (рис. 7) із запропонованими конструктивними рішеннями.



Рис. 5. Асортиментний ряд взуття для людей з інвалідністю



1. Про внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 5 квітня 2012 р. N 321. Порядок забезпечення технічними та іншими засобами реабілітації осіб з інвалідністю, дітей з інвалідністю та інших окремих категорій населення і виплати грошової компенсації вартості за самостійно придбані технічні та інші засоби реабілітації [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ips.ligazakon.net/document/view/kp210362?an=31>.
2. European Platform on Rare Disease. Cerebral Palsy [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://eu-rd-platform.jrc.ec.europa.eu/scpe/cerebral-palsy_en#inline-nav-1.
3. Фармацевтична енциклопедія. Парез [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/741/parez>.
4. На Львівському протезному заводі ветеранів-інвалідів повертають до повноцінного життя.

- [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://invak.info/staty/na-lvivskomu-proteznomu-zavodi-veteraniv-invalidiv-povertayut-do-povnocinnogo-zhittya-foto-video.html>.
5. Альошина А. І. Профілактика й корекція функціональних порушень опорно-рухового апарату дітей та молоді у процесі фізичного виховання. – На правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора наук з фізичного виховання та спорту за спеціальністю 24.00.02 – фізична культура, фізичне виховання різних груп населення. – Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, 2015.
6. Каменець С. Є. Проектування спеціального взуття для людей з осколковими ураженнями ніг за допомогою сучасних 3d технологій [Електронний ресурс] / С. Є. Каменець, Н. С. Кір'янова // Технології та дизайн. – 2017. – № 1 (22). – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_1_4.
7. Щуцька Г. В. Розробка післяопераційного взуття для хворих після операцій на нижніх кінцівках / Г. В. Щуцька, Н. П. Супрун, Т. В. Пономаренко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 2 (84). – С. 119-124.
8. Дослідницькі технології у виробництві спеціального взуття : монографія / І. І. Половніков, В. І. Андрушак, М. С. Беднарчук; Укр. технол. акад., Львів. комерц. акад., Укр. НДІ шкір.-взутт. пром-сті. – Львів, 2014. – 364 с. – Бібліогр.: с. 352-364 – укр.
9. Текстильні застібки velcro [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://velmet.ua/tekstilnyye-zastezhki-velcro.html>
10. Засоби реабілітації для людей з обмеженими фізичними можливостями та осіб з інвалідністю. Пристосування для застігання гудзиків і блискавок [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://invateh.poltava.ua/ua/katalog/obladnannya-socialno-pobutovoi-adaptacii/dlya-odyagannya-ta-rozdyagannya/pristosuvannya-dlya-zastibannya-gudzikiv-i-bliskavok>
11. Основи проектування ортопедичного взуття : Посіб. / Н. М. Омельченко, В. П. Коновал, О. М. Коляда; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – К., 2005. – 200 с. – Бібліогр.: с. 200. – укр.
12. Розробка внутрішньої форми та корегуючих пристосувань профілактично-медичного взуття при патології стоп : Автореф. дис... канд. техн. наук / П. М. Гондарчук; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – К., 2007. – 21 с. – укр.
13. Лапина Т.С. Мода в конструкциях ортопедической обуви для лиц с заболеванием ДЦП/ Лапина Т.С., Костылева В.В., Евсеева Л.П. // М.: ИИЦ РГУ им. А.Н. Косыгина. Дизайн и технологии № 69(111) – 2019.
14. Евченко, К. Г. Решения компании Delcam для дизайна, моделирования и изготовления ортопедической обуви [Текст] / К. Г. Евченко, А. И. Волокитин // Кожевенно-обувная промышленность. – 2009. – № 4. – С. 14-16. – ISSN 0023-4354
15. Всеукраїнський центр реабілітації та протезування «ЗДОРОВ'Я». Якую обув використовувати з протезами? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://health-ukraine.com.ua/kakuy-obuv-nosit-s-protezm/>
16. Грабовецький Б.Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання: монографія / Б.Є. Грабовецький – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 171 с.
17. Лобанова Г.Є. Дослідження впливу конструкторсько-технологічних особливостей взуття на психологічну оцінку його комфортності / Г.Є. Лобанова, В.М. Цимбалюк, Ю.В. Пухальська // – Вісник ХНУ. – 2012. – №3. – С. 249-254.
18. Надопта Т.А. Принципи аналітичного проектування базової основи деталей верху взуття / Т.А. Надопта, І.Т. Солтик, О.А.Михайловська // – Вісник ХНУ, Технічні науки. – 2019. – №5. – С. 114-119.
- ### References
1. Pro vnesennia zmin do postanovy Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 5 kvitnia 2012 r. N 321. Poriadok zabezpechennia tekhnichnymy ta inshymy zasobamy rehabilitatsii osib z invalidnistiu, ditei z invalidnistiu ta inshykh okremykh katehoriy naselennia i vyplaty hroshovoi kompensatsii vartosti za samostiino prydbani tekhnichni ta inshi zasoby rehabilitatsii [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://ips.ligazakon.net/document/view/kp210362?an=31>.
2. European Platform on Rare Disease. Cerebral Palsy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://eu-rd-platform.jrc.ec.europa.eu/scpe/cerebral-palsy_en#inline-nav-1
3. Farmatsevtichna entsyklopediia. Parez [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/741/parez>
4. Na Lvivskomu proteznomu zavodi veteraniv-invalidiv povertaiut do povnotsinnogo zhyttia. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://invak.info/staty/na-lvivskomu-proteznomu-zavodi-veteraniv-invalidiv-povertayut-do-povnocinnogo-zhittya-foto-video.html>
5. Alosyna A. I. Profilaktyka y korektsiia funktsionalnykh porushen oporno-rukhovoho aparatu ditei ta molodi u protsesi fizychnoho vykhovannia. – Na pravakh rukopysu. Dysertatsiia na zdobuttia naukovoho stupennia doktora nauk z fizychnoho vykhovannia ta sportu za spetsialnistiu 24.00.02 – fizychna kultura, fizychno vykhovannia riznykh hrup naselennia. – Natsionalnyi universytet fizychnoho vykhovannia i sportu Ukrainy, Kyiv, 2015.
6. Kamenets S. Ye. Proektuvannia spetsialnogo vzuttia dlia liudei z oskolkovyymi urazhenniamy nih za dopomohoiu suchasnykh 3d tekhnolohii [Elektronnyi resurs] / S. Ye. Kamenets, N. S. Kirianova // Tekhnolohii ta dyzain. - 2017. - № 1 (22). - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_1_4.
7. Shchutka H. V. Rozrobka pisliaoperatsiynoho vzuttia dlia khvorykh pislia operatsii na nyzhnikh kintsivkakh / H. V. Shchutka, N. P. Suprun, T. V. Ponomarenko // Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2015. – № 2 (84). – S. 119-124.
8. Tekstyni zastibky velcro [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://velmet.ua/tekstilnyye-zastezhki-velcro.html>

9. Zasoby rehabilitatsii dlia liudei z обмеzhenymy fizychnymy mozhyvostiamy ta osib z invalidnistiu. Prystosuvannia dlia zastibannia hudzykiv i blyskavok [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://invateh.poltava.ua/ua/katalog/obladnannya-socialno-pobutovoi-adaptacii/dlya-odyagannya-ta-rozdyagannya/pristosuvannya-dlya-zastibannya-gudzykiv-i-blyskavok>
10. Doslidnytski tekhnologii u vyrobnytstvi spetsialnoho vzuttia : monohrafiia / I. I. Polovnikov, V. I. Andrushchak, M. S. Bednarchuk; Ukr. tekhnol. akad., Lviv. komerts. akad., Ukr. NDI shkir.-vzutt. prom-sti. - Lviv, 2014. - 364 c. - Bibliohr.: s. 352-364 - ukp.
11. Osnovy proektuvannia ortopedychnoho vzuttia : Posib. / N. M. Omelchenko, V. P. Konoval, O. M. Koliada; Kyiv. nats. un-t tekhnologii ta dyzainu. - K., 2005. - 200 c. - Bibliohr.: s. 200. - ukp.
12. Rozrobka vnutrishnoi formy ta korehuyuchykh prystosovan profilaktychno-medychnoho vzuttia pry patolohii stop : Avtoref. dys... kand. tekhn. nauk / P. M. Hondarchuk; Kyiv. nats. un-t tekhnologii ta dyzainu. - K., 2007. - 21 c. - ukp.
13. Lapina T.S. Moda v konstrukciyah ortopedicheskoy obuvi dlya lic s zabolevaniem DCP/ Lapina T.S., Kostyleva V.V., Evseeva L.P. // M.: IIC RGU im. A.N. Kosygina. Dizajn i tehnologii No 69(111) - 2019.
14. Evchenko, K. G. Resheniya kompanii Delcam dlya dizajna, modelirovaniya i izgotovleniya ortopedicheskoy obuvi [Tekst] / K. G. Evchenko, A. I. Volokitin // Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost. - 2009. - N 4. - S. 14-16. - ISSN 0023-4354
15. 15. Vseukrainskij centr rehabilitatsii i protezirovaniya «ZDOROVE». Kakuyu obuv ispolzovat s protezami? [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://health-ukraine.com.ua/kakuy-obuv-nosit-s-protezm/16>. Hrabovetskyi B.Ie. Metody ekspertnykh otsinok: teoriia, metodolohiia, napriamky vykorystannia: monohrafiia / B.Ie. Hrabovetskyi – Vinnytsia: VNTU, 2010. – 171 s.
16. Lobanova H.Ie. Doslidzhennia vplyvu konstruktorsko-tekhnolohichnykh osoblyvostei vzuttia na psykholohichnu otsinku yoho komfortnosti / H.Ie. Lobanova, V.M. Tsybaliuk, Yu.V. Pukhalska // – Visnyk KhNU. – 2012. – №3. – S. 249-254.
17. Nadopta T.A. Pryntsypy analitychnoho proektuvannia bazovoi osnovy detalei verkhui vzuttia / T.A. Nadopta, I.T. Soltyk, O.A.Mykhailovska // – Visnyk KhNU, Tekhnichni nauky. – 2019. – №5. – S. 114-119.

Рецензія/Peer review : 05.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

ОСИПЕНКО В. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-1077-1461>e-mail: vvo7@ukr.net**ЗЛОТЕНКО Б. М.**

Київський національний університет технологій та дизайну

<http://orcid.org/0000-0002-0870-8535>e-mail: zlotenco@ukr.net**КУЛІК Т. І.**

Київський національний університет технологій та дизайну

<http://orcid.org/0000-0002-1006-7853>e-mail: t-81@ukr.net**БІЛА Т. Я.**

Київський національний університет технологій та дизайну

<http://orcid.org/0000-0001-8937-5244>e-mail: bila.ty@knu.edu.ua**ДЕМІШОНКОВА С. А.**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0001-5678-8114>e-mail: mashuk2007@ukr.net

ЗОВНІШНІЙ КРИТЕРІЙ СТАБІЛЬНОСТІ ВНУТРІШНЬОМНОЖИННИХ ВІДСТАНЕЙ В ЗАДАЧАХ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНІВ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Метою дослідження є адаптація критеріїв бікластеризації, які володіють властивостями зовнішнього доповнення для задач класифікації станів складних технічних об'єктів в сфері комп'ютерної інженерії. В роботі застосовані принципи індуктивного моделювання складних систем, зокрема, принципу зовнішнього доповнення, а також методологія теорії розпізнавання образів, методи індуктивного кластерного аналізу, математична статистика. Конструювання критерію стабільності внутрішньо множинних відстаней базується на схемах відомих критеріїв самоорганізації моделей, зокрема критерію несуперечностей моделей, які мають широке застосування в багатокрокових алгоритмах розпізнавання образів з інтелектуальним вибором оптимальних результатів. В роботі запропоновано застосування критерію стабільності внутрішньо множинних відстаней в задачах діагностування станів технічних об'єктів, зокрема, у сфері комп'ютерної інженерії. Оскільки для застосування такого критерію необхідна наявність цільової ознаки, адаптовано один із варіантів розбиття вихідної експериментальної бази даних на дві підмножини: підмножину цільових ознак і підмножину вхідних параметрів. Поняття внутрішньо множинних відстаней поширено на застосування в критеріях алгоритмів самоорганізації моделей оптимальної складності. Інтелектуальні алгоритми самоорганізації моделей оптимальної складності можуть бути застосовані для підвищення надійності експлуатації комп'ютерних систем.

Ключові слова: критерій, принцип зовнішнього доповнення, кластеризація, алгоритм, комп'ютерна система, самоорганізація моделей, інженерія.

Volodymyr OSYPENKO, Borys ZLOTENKO, Tetyana KULIK, Tatyana BILA., Svitlana DEMISHONKOVA
Kyiv National University of Technologies and Design

EXTERNAL CRITERION OF STABILITY OF INTRA-MULTIPLE DISTANCES IN TASKS OF DIAGNOSIS OF STATES OF TECHNICAL OBJECTS

The purpose of the research is adaptation of biclasticization criteria, which have the properties of external complement to the problems of classification of states of complex technical objects in the field of computer engineering. The principles of inductive modelling of complex systems, in particular, the principle of external complementarity, as well as the methodology of the theory of pattern recognition, methods of inductive cluster analysis, mathematical statistics are applied. The construction of the criterion of stability of intra-multiple distances is based on the schemes of known criteria of self-organization of models, in particular the criterion of model inconsistencies, which are widely used in multi-step image recognition algorithms with intelligent choice of optimal results.

The paper proposes the application of the criterion of stability of intra-multiple distances in the problems of diagnosing the state of technical objects, in particular, in the field of computer engineering. Since the application of such a criterion requires the presence of a target feature, one of the options for splitting the original experimental database into two subsets has been adapted: a subset of target features and a subset of input parameters. The concept of intra-multiple distances is extended to the application of algorithms of optimal complexity in the criteria of self-organization algorithms. Intelligent algorithms for self-organization of models of optimal complexity can be used to increase the reliability of computer systems.

Keywords: criterion, principle of external complement, clustering, algorithm, computer system, self-organization of models, engineering.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Відомо, що в алгоритмах самоорганізації моделей, а за сучасною термінологією – індуктивного моделювання складних систем (ІМСС), який базується на добре відомому в сфері інтелектуальних технологій і системного аналізу Методу групового урахування аргументів (МГУА) повинні застосовуватися критерії, які володіють властивостями зовнішнього доповнення [1–3]. Їх застосування з необхідністю

вимагають розділення множини вхідних об'єктів на дві підмножини з метою незалежного конструювання моделей на виділених підмножинах. Робота так званого зовнішнього критерію в цьому випадку полягає у співставленні за певними правилами найважливіших характеристик індуктивних моделей для подальшого вибору кращих (або єдиної оптимальної) з них.

Аналіз останніх джерел

В роботі мова йде про один із найважливіших атрибутів будь-якого математичного моделювання – критеріїв відбору (селекції) кращих результатів і самоорганізація моделей в алгоритмах кластер-аналізу не є винятком. Для вирішення завдання кластеризації за методологією ІМСС тут розглядається певний аналог критерію мінімуму зміщення виходів моделей, отриманих незалежно на виділених попередньо підмножинах, який ще називають критерієм несуперечності [1, 4]. Знаходження мінімуму критерію селекції дозволяє конструювати оптимальну підмножину ознак (“ансамбль” інформативних ознак) [5], що дає можливість установити компактні утворення – кластери – на вибіркового масиві об'єктів.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є адаптація критеріїв бікластеризації, які володіють властивостями зовнішнього доповнення для задач класифікації станів складних технічних об'єктів в сфері комп'ютерної інженерії.

Виклад основного матеріалу

Вище сказано, що для застосування індуктивних технологій індуктивного моделювання складних систем вхідну множину необхідно розділити на дві рівні частини з однаковими статистичними характеристиками. Найпростіше, це можна зробити, розділяючи вхідну вибірку на частини за правилом “парний-непарний” елемент, хоча можна застосовувати й інші, більш складні алгоритми.

Критерій несуперечності кластеризації. Нехай основною характеристикою кластера буде середньоквадратична похибка [6]. Вираз для критерію мінімуму зміщення запишемо так:

$$n_{\text{cons}} = \frac{\left| \sum_{i=1}^K \sum_{j \in O_1} \|\omega_j - m_i^{O_1}\| - \sum_{i=1}^K \sum_{j \in O_2} \|\omega_j - m_i^{O_2}\| \right|}{\sum_{i=1}^K \left(\sum_{j \in O_1} \|\omega_j - m_i^{O_1}\| + \sum_{j \in O_2} \|\omega_j - m_i^{O_2}\| \right)} \Rightarrow \min, \quad i = 1, 2, \dots, K, \quad (1)$$

де K – число виділених кластерів, $m_i^{O_1}$ і $m_i^{O_2}$ – центри кластерів, виділених на підмножинах O_1 і O_2 відповідно, ω_j – j -те зображення вибіркової множини.

Для того, щоб суми модулів відхилень

$$\sum_{i=1}^K \sum_{j \in O_1} \|\omega_j - m_i^{O_1}\| \quad \text{і} \quad \sum_{i=1}^K \sum_{j \in O_2} \|\omega_j - m_i^{O_2}\| \quad (2)$$

монотонно зменшувалися і, внаслідок чого, критерій n_{cons} (1) сягав би мінімуму, необхідно вводити в розгляд відповідний порядок встановлення кластерів. Крім того, для застосування критерію (1) необхідно накласти також і умову виділення однакової кількості кластерів на підвибірках O_1 і O_2 . Очевидно, що така умова вимагає достатньо великої вибірки вихідних даних для задоволення вимоги стійкості статистичних характеристик. Такі жорсткі умови можна обійти, якщо застосувати Проте це окрема тема, як відноситься більше до побудови алгоритму кластеризації (в даному випадку – бікластеризації) і тут не розглядається.

Внутрішньомножинна відстань у вибіркової множини. Відомо, що відстані всередині множини K точок в евклідовому просторі Ω^n визначається як [7]:

$$\sum_{i=1}^K \sum_{j \in O_1} \|\omega_j - m_i^{O_1}\| \quad \text{і} \quad \sum_{i=1}^K \sum_{j \in O_2} \|\omega_j - m_i^{O_2}\|, \quad (3)$$

де ω^i і ω^j ($i \neq j$) – вектори заданої множини Ω , x_k^i – k -та компонента (ознака) цього вектора.

Частинне середнє між фіксованим об'єктом ω^i і усіма іншими об'єктами $\{\omega^j, i=1, 2, \dots, k\}$, $i \neq j$ визначається як:

$$d^2(\omega^i, \{\omega^j\}) = \frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^K \sum_{k=1}^n (x_k^i - x_k^j)^2. \quad (4)$$

Звідси середня відстань по всіх об'єктах множини Ω , що визначить внутрішньомножинну відстань, можна подати у вигляді:

$$d^2(\{\omega^i\}, \{\omega^j\}) = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \left[\frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^K \sum_{k=1}^n (x_k^i - x_k^j)^2 \right] = \frac{1}{K(K-1)} \sum_{k=1}^K \sum_{k=1}^K \sum_{k=1}^n (x_k^i - x_k^j)^2. \quad (5)$$

Для використання поняття внутрішньомножинної відстані в критеріях селекції, вираз (5) подамо через вибіркової дисперсії значень компонент векторів образів. Оскільки розглядається одна і та ж вибіркова множина, то $\overline{(x_k^i)^2} = \overline{(x_k^j)^2}$. Тепер внутрішньомножинну відстань можна отримати шляхом наступних перетворень:

$$\begin{aligned} \overline{d^2} &= \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^n \left[\frac{1}{K^2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (x_k^i - x_k^j)^2 \right] = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^n \left[\frac{1}{K^2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (x_k^i)^2 - \frac{2}{K^2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (x_k^i x_k^j) + \frac{1}{K^2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (x_k^j)^2 \right] = \\ &= \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^n \left[\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (\overline{x_k^i})^2 - 2(\overline{x_k^i})(\overline{x_k^j}) + \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K (\overline{x_k^j})^2 \right] = \frac{2}{K-1} \sum_{k=1}^n \left[(\overline{x_k^i})^2 - \overline{x_k^i}^2 \right], \quad i = 1, 2, \dots, K. \end{aligned} \quad (6)$$

Так як

$$(\overline{x_k^i})^2 - \overline{x_k^i}^2 = \tilde{\sigma}_k^2 \quad (7)$$

є зміщена вибіркова дисперсія k -ї компоненти для K об'єктів множини $\{\omega^i, i = 1, 2, \dots, K\}$, то

$$\overline{d^2} = \frac{2K}{K-1} \sum_{k=1}^n \tilde{\sigma}_k^2. \quad (8)$$

Враховуючи, що незміщена вибіркова дисперсія задається співвідношенням

$$\sigma_k^2 = \frac{K}{K-1} \tilde{\sigma}_k^2, \quad k = 1, \dots, n. \quad (9)$$

то

$$\overline{d^2} = 2 \sum_{k=1}^n \sigma_k^2. \quad (10)$$

Приймаючи до уваги те, що в моделюванні приймають участь об'єкти виключно із однієї статистично однорідної вибірки, вираз (10) перепишемо у вигляді:

$$d_o = 2\sigma_o^2, \quad (11)$$

де

$$\sigma_o^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^K (x_o^i - \bar{x}^0)^2 - \quad (12)$$

незміщена вибіркова дисперсія множини точок.

Критерій стабільності внутрішньомножинних відстаней. Нехай вихідні експериментальні дані представлені у вигляді матриці:

$$\{X\} = \begin{pmatrix} x_{o1} & x_{11} & \dots & x_{i1} & \dots & x_{N1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{oj} & x_{1j} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{Nj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{om} & x_{1m} & \dots & x_{im} & \dots & x_{Nm} \end{pmatrix} \quad (13)$$

Під вибірками O_1 і O_2 будемо розуміти наступне. Як на вибірці O_1 так і на вибірці O_2 кластеризації підлягають усі об'єкти вихідної множини $\{X\}$. Різниця тут має місце в тому, що кластеризація на O_1 здійснюється на основі всіх можливих ансамблів ознак [1] без участі цільової ознаки, а на O_2 – тільки по цільовій ознаці x_o . При цьому для можливості співставлення кластеризацій на O_1 центри кластерів обчислюються за значеннями цільових ознак образів, попавши в окремі кластери. Таким чином, на вибірці O_1 число кластеризацій дорівнює кількості усіх можливих комбінацій ознак в ансамблях, а на O_2 тільки одна, яка відповідає кластеризації по осі x_o .

Дамо наступне означення: функціонал $\rho(\sigma)$, що відображає рівність внутрішньомножинних відстаней по K кластерах на вибірках O_1 і O_2 відповідно, називається критерієм внутрішньомножинних відстаней.

Використовуючи формальний запис для критерію несуперечності, а також (11), критерієм внутрішньомножинних відстаней запишемо наступним чином:

$$\rho(\sigma) = \frac{\left| \sum_{i=1}^K (\delta_{oi}^2)_{O_1} - \sum_{i=1}^K (\delta_{oi}^2)_{O_2} \right|}{\sum_{i=1}^K (\delta_{oi}^2)_{O_1} + \sum_{i=1}^K (\delta_{oi}^2)_{O_2}} \Rightarrow \min. \quad (14)$$

Нехай на O_1 і O_2 виділено однакова кількість кластерів. Тоді, якщо на основі деякого ансамблю ознак $\{x_1, \dots, x_n\}$ множина об'єктів класифікуються таким чином, щоб в кожному з K кластерів на O_1 попали ті ж об'єкти, що і у випадку кластеризації по цільовій ознаці x_o , то із (11) і попереднього означення маємо:

$$\sum_{i=1}^K (\delta_{oi}^2)_{O_1} - \sum_{i=1}^K (\delta_{oi}^2)_{O_2} = 0. \quad (15)$$

Ця важлива властивість характерна і для критерію мінімуму зміщення, який має широке застосування в МГҮА. Очевидно, що на добитися ідеального виконання рівності нулю в (15) і, тим більше за наявності шумів і недостатніх об'ємів інформації, на практиці не реально. Тому, нехай \mathcal{F} – підмножина кращих значень критерію (16). Тоді вибору підлягає ансамбль (підпростір ознак $n^* \leq N$), для якого:

$$\rho^*(\sigma) = \min_{\mathcal{F}} \{\rho(\sigma)\}. \quad (16)$$

Поданий критерій внутрішньомножинних відстаней створений спеціально для застосувань в індуктивних алгоритмах кластеризації. Такі алгоритми призначені не лише для отримання розбиття вхідної множини векторів-образів на кластери, але й для конструювання підпросторів інформативних ознак [8–10].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В роботі розглянуто критерій внутрішньомножинних відстаней для застосувань в інтелектуальних алгоритмах кластеризації ІММС. Індуктивні алгоритми є важливими інструментами в проблемах діагностування складних технічних об'єктів і технологічних процесів. Такими об'єктами досліджень не в останню чергу є комп'ютерні системи і мережі в процесах експлуатації в складних умовах навколишнього середовища, за коротких вибірок вхідної зашумленої інформації. Описаний критерій застосовується зазвичай системно з іншими критеріями індуктивної самоорганізації, наприклад критерієм стабільності міжмножинних відстаней [8], критерієм балансу [1, 2] в різних варіаціях та ін.

Література

1. Ивахненко А. Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А. Г. Ивахненко. – К. : Наукова думка, 1981. – 296 с.
2. Ivakhnenko A. G. Inductive learning algorithms for complex systems modeling / Ivakhnenko A. G., Madala H. R. – New York : Boca Raton, CRC Press, 1994. – 384 p.
3. Лур'є І. А. Гібридизація алгоритму індуктивного кластер-аналізу з використанням оцінки щільності розподілу даних [Електронний ресурс] / Лур'є І. А., Осипенко В. В., Литвиненко В. І., Тайф М. А., Корніловська Н. В. – Lviv Polytechnic National University Institutional Repository, 2015. – URL : <http://ena.lp.edu.ua>.
4. Осипенко В. В. Два підходи до розв'язання задачі кластеризації у широкому сенсі з позицій індуктивного моделювання / В. В. Осипенко // Вісник НУБіП України. Сер. Енергетика і автоматика. – 2014. – № 1. – С. 83–97. – URL : http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_20141_11.pdf.
5. Duda R. O. Pattern Classification, 2nd Edition / Duda R. O., Hart P. E., Stork D. G., John. – New York : Wiley & Sons, 2001. – 738 p.
6. Сеньо П. С. Теорія ймовірностей та математична статистика : підручник / Сеньо П. С. – 1-е вид. – К. : Центр навчальної літератури, 2004. – 448 с.
7. Ту Дж. Принципи розпізнавання образів / Ту Дж., Гонсалес Р. – М. : Мир, 1978. – 414 с.
8. Васильев В. И. Распознающие системы : справочник / Васильев В. И. – 2-е изд. перераб. и доп. – К. : Наукова думка, 1983. – 422 с.
9. Babichev S. Implementation of the objective clustering inductive technology based on DBSCAN clustering algorithm / S. Babichev, V. Lytvynenko, V. Osypenko // 2017 IEEE 12th Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT): Proceedings, Sept. 05-08, 2017. – Lviv, 2017. – P. 479–484. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2017.8098832.
10. Орешков В. EM – масштабируемый алгоритм кластеризации [Електронний ресурс] / Орешков В. – URL : <https://loginom.ru/blog/em>.

References

1. Ivakhnenko A. H. Ynduktyvnyi metod samoorhanyzatsiyi modelei slozhnykh system / A. H. Yvakhnenko // Kyev: Naukova dumka, 1981. – 296 p.
2. Ivakhnenko A. G. Inductive learning algorithms for complex systems modeling / Ivakhnenko A. G., Madala H. R. – New York : Boca Raton, CRC Press, 1994. – 384 p.
3. Lur'ie I. A. Hibrydzatsiya alhorytmu induktyvnoho klaster-analizu z vykorystanniam otsinky shchilnosti rozpodilu danykh / Lur'ie I. A., Osypenko V. V., Lytvynenko V. I., Tayf M. A., Kornilovska N. V. – Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. – 2015. – URL: <http://ena.lp.edu.ua>.
4. Osypenko V. V. Dva pidkhody do rozv'iazannia zadachi klasteryzatsii u shyrokomu sensi z pozytsii induktyvnoho modeliuuvannia / V. V. Osypenko // Visnyk NUBiP Ukrainy. Ser. Enerhetyka i avtomatyka. – 2014. – № 1. – P. 83-97.
5. Duda R. O. Pattern Classification, 2nd Edition / Duda R. O., Hart P. E., Stork D. G., John. – New York : Wiley & Sons, 2001. – 738 p.
6. Seno P. S. Teoriya ymovirnostei ta matematychna statystyka. Pidruchnyk, 1-e vyd. / Seno P. S. – K. : Tsentr navchalnoi literatury, 2004. – 448 p.
7. Tu Dzh. Pryntsypy rozpoznavannia obraziv / Tu Dzh., Honsales R. – M.: Myr, 1978. – 414 p.
8. Vasylev V. Y. Raspoznaiushchye system: spravochnyk / Vasylev V. Y. – 2-e izd., pererab. y dop. – K. : Naukova dumka, 1983. – 422 p.
9. Babichev S. Implementation of the objective clustering inductive technology based on DBSCAN clustering algorithm / S. Babichev, V. Lytvynenko, V. Osypenko // 2017 IEEE 12th Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT): Proceedings, Sept. 05-08, 2017. – Lviv, 2017. – P. 479–484. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2017.8098832.
10. Oreshkov V. EM – masshtabiruemyi algoritm klasterizatsii. URL: <https://loginom.ru/blog/em>.

Рецензія/Peer review : 13.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

ЛУЩЕВСЬКА О. М.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2689-798X>e-mail: lushchevskao@khmnu.edu.ua

БУХАНЦОВА Л. В.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3452-4593>e-mail: bukhantsovaliu@khmnu.edu.ua

ДІТКОВСЬКА О. А.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5608-2103>e-mail: ditkovskao@khmnu.edu.ua

ЯНЦАЛОВСЬКИЙ О. Й.

Хмельницький національний університет

<http://orcid.org/0000-0003-0986-4166>e-mail: yantsalovskyiol@khmnu.edu.ua

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ АДАПТИВНОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ГОЛОВНОГО УБОРУ – БАЛАКЛАВИ

В роботі наведено результати інформаційного дослідження сучасного адаптивного багатофункціонального одягу, який окрім основних функцій, має додаткові властивості, що розширюють його призначення. Розроблено класифікацію адаптивного багатофункціонального одягу за функціональним впливом, ступенем корисності, видом трансформації, видом засобу впливу та тривалістю його впливу. Запропоновано розширення функціональності головного убору – балаклави, шляхом надання йому лікувально-профілактичних властивостей. На основі аналізу існуючих балаклав розроблено їх класифікатор та визначено найбільш поширені конструктивно-технологічні рішення таких виробів.

Ключові слова: головний убір, балаклава, багатофункціональний одяг, лікувально-профілактичний одяг.

Olena LUSHCHEVSKA, Liudmyla BUKHANTSOVA, Olesya DITKOVSKA, Oleksandr YANTSALOVSKYI
Khmelnytskyi National University

FEATURES OF DESIGN OF ADAPTIVE MULTIFUNCTIONAL HEADWEAR - BALAKLAVA

The paper presents the results of information research on modern adaptive multifunctional clothing. In addition to the main functions, these clothes have additional functions that expand their purpose. The design of such products aims to improve the efficiency of human adaptation to specific conditions through a multifunctional system, clothing. This process requires integrating research into comfort, functionality, and protective properties of materials and clothing, including environmental protection and fashion sustainability. The classification of adaptive multifunctional clothes by functionality, usefulness, type of transformation, type of means of influence, and duration of impact is developed. It is proposed to expand the functionality of the balaclava headwear by giving it therapeutic and prophylactic properties. The product will positively affect the human body by affecting the biologically active areas on the head and neck. Based on the analysis of existing balaclavas, their classifier was developed. The most widespread constructive and technological decisions of such products are defined. It is established that modern balaclavas are designed mainly in the unisex style. Their design often consists of three parts, which gives the product high ergonomic comfort and the possibility of transformation.

Keywords: headwear, balaclava, multifunctional clothing, treatment and prevention clothing.

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

Забезпечення індивідуального благополуччя людини, її комфорту, безпеки і здоров'я є одним із провідних завдань сучасного виробництва інноваційних текстильних багатофункціональних виробів. На даний час, турбота про фізичне благополуччя споживача покладена на виробників косметики, фітнес-центри і оздоровчі заклади і харчову промисловість. Для текстильної і швейної промисловості це нове поле діяльності не тільки як для виробника медичних або гігієнічних текстильних виробів, але і як для виробника швейних виробів із розширеними можливостями застосування [1].

Метою проєктування таких виробів є підвищення ефективності адаптації людини до певних умов через багатофункціональну систему, якою є одяг. Використання такого одягу повинно сприяти підвищеній комфортності експлуатації одягу, витривалості і ефективності роботи людини на основі його модульності і мобільності, а також розширених можливостей застосування.

Аналіз досліджень та публікацій

Одним із інноваційних напрямків швейної промисловості по розробленню адаптивних виробів є усвідомлення впливу різноманітних факторів, що виникають при взаємодії елементів системи «людина–одяг–виробниче середовище» [1-5]. Можна виділити кілька перспективних напрямків таких досліджень. Перший це розроблення текстильних матеріалів із заданими адаптивними властивостями [4, 5]. Зокрема у роботі [4] запропоновано багатофункціональні текстильні матеріали медичного призначення з антимікробними властивостями, модифікованих рослинними препаратами та вивчено їх енергоінформаційного вплив на

організм людини. Дослідження [5] направлені на створення багатофункціонального біоактивного матеріалу із антибактеріальними властивостями, шляхом нанесення наночастинок кремнезему, інкапсульованих нанокристаллами срібла. Нанесення наночастинок на текстильні матеріали дозволяє покращити і розширити їхні властивості, однак на сьогодні існує загроза забруднення навколишнього середовища при виробництві таких матеріалів, у процесі експлуатації та після її закінчення [6].

Ще одним напрямком створення багатофункціональних виробів є синергізм одягу і технологій (технології вбудовані в одяг), що надає кінцевому виробу розширених функцій і підвищеного комфорту тощо [2, 7-9]. Та авторами [7] запропоновано головний убір, доповнений датчиками для контролю тиску, у [8] – рукавички із датчиками для контролю стану здоров'я, а у роботі [9] розглянуто ряд корисних напрямків вбудованих технологічних пристроїв у одязі та текстилі. Незважаючи на актуальність та науково-практичну цінність кожної розробки, у всіх прослідковується спільна проблема, а саме розрив між лабораторними умовами та реальним застосуванням виробів. Більшість із таких розробок описана, виготовлено експериментальний зразок, але реального впровадження немає та дослідження ефективності цих розробок у повсякденному використанні не проводяться, в першу чергу у зв'язку із дороговартістю подібних технологій та розробок.

Зважаючи на те, що багатофункціональний одяг має більш широке застосування для користувача за рахунок поєднання основних та додаткових функцій, що розширюють його призначення, отримав розвиток напрямок створення багатофункціонального одягу для надання лікувально-профілактичного ефекту [2, 10-12]. Такий одяг окрім звичних функцій має позитивний енергоінформаційний вплив на людину, що експлуатує цей одяг. Розроблені чоловічі труси [2], напульсник [10], білизна [11-12] містять елементи енергоінформаційного впливу, які розміщуються у одязі відповідно біологічно-активним точкам (БАТ) і зонам (БАЗ) тіла людини, що пов'язані із органами та системами. Таким чином впливаючи на ці зони, здійснюється вплив на увесь організм людини [2, 12]. Однак авторами не охоплено голову людини, на якій розташовано багато БАТ і БАЗ, через які можливо здійснювати позитивний вплив на організм людини. Тому **метою роботи** є розроблення адаптивного багатофункціонального головного убору, який матиме розширені можливості позитивного енергоінформаційного впливу на організм людини.

Виклад основного матеріалу

Сьогодні одяг, що має нові розширені можливості використання за рахунок поєднання основних та додаткових функцій, називають багатофункціональним. Спираючись на проведений інформаційний аналіз існуючого багатофункціонального одягу розроблено його класифікацію наведену на рис. 1.

За функціональним впливом багатофункціональний одяг можна розділити на одяг для забезпечення захисту за різних умов експлуатації, для надання лікувально-профілактичного ефекту, для підвищення естетики тіла, для особливих потреб споживача, для підвищення фізичної продуктивності і спортивних досягнень, для військової і космічної галузі. Метою проектування таких виробів є підвищення ефективності адаптації людини до певних умов через адаптивну багатофункціональну систему (АБС), якою є одяг.

Використання новітніх АБС повинно сприяти підвищеній комфортності експлуатації одягу, витривалості і ефективності роботи людини на основі його модульності і мобільності.

Багатофункціональний одяг можна розділити за ступенем корисності (рис. 1). Користю одягу є суб'єктивна міра задоволення потреб споживача, яку він отримує від користування одягом. Корисність визначається ступенем задоволеності. Виходячи з цього, багатофункціональний одяг може бути малокорисним, корисним, дуже корисним. Корисність одягу може проявлятися відсутністю шкідливого впливу на організм людини в процесі експлуатації, наявністю високого, стабільного та довговічного антимікробного ефекту, високою гігроскопічністю, паро- та повітропроникністю тощо.

За тривалістю впливу багатофункціонального одягу або за часом його користування, одяг може мати короткотривалий, середньотривалий, довготривалий і комбінований терміни експлуатації.

За ступенем трансформації багатофункціональний одяг можна поділити на нетрансформований одяг, тобто одяг який не змінює свої початкові форми і параметри в процесі існування або експлуатації (рис. 1). Трансформований одяг, який є рухомою матеріальною структурою, що дозволяє їй перетворюватись у різні види одягу або істотно змінювати властивості даних виробів [13, 14]. Трансформація може здійснюватися двома основними способами: перетворення однієї форми в іншу та трансформацією деталей у середині однієї форми. Ще одним ступенем трансформації є трансформація в інший предмет, що не є одягом.

Окремою групою виділено багатофункціональний одяг із смарт засобами та пристроями переносної електроніки. Так, сучасний технічний розвиток дозволяє надати адаптивному багатофункціональному одягу (АБО) інтелектуальних властивостей, для прикладу: включення GPS і бездротового зв'язку, моніторинг навантаження, вимірювання комфортності, оцінки ризику і попередження про небезпеку тощо [7, 8].

До захисних засобів багатофункціонального одягу відносять накладки, що забезпечують підвищення зносостійкості та захисних властивостей окремих ділянок виробу, їх також застосовують для його оздоблення.

Для надання розширених функцій у АБО застосовують спеціальні засоби впливу (аплікатори, вкладки, сенсори тощо), які дозволяють споживачу або текстильним виробам реагувати і адаптуватися до умов навколишнього середовища. У багатофункціональному одязі можуть бути також засоби енергоінформаційного впливу. Такі засоби використовують при створенні адаптивного лікувально-профілактичного одягу.

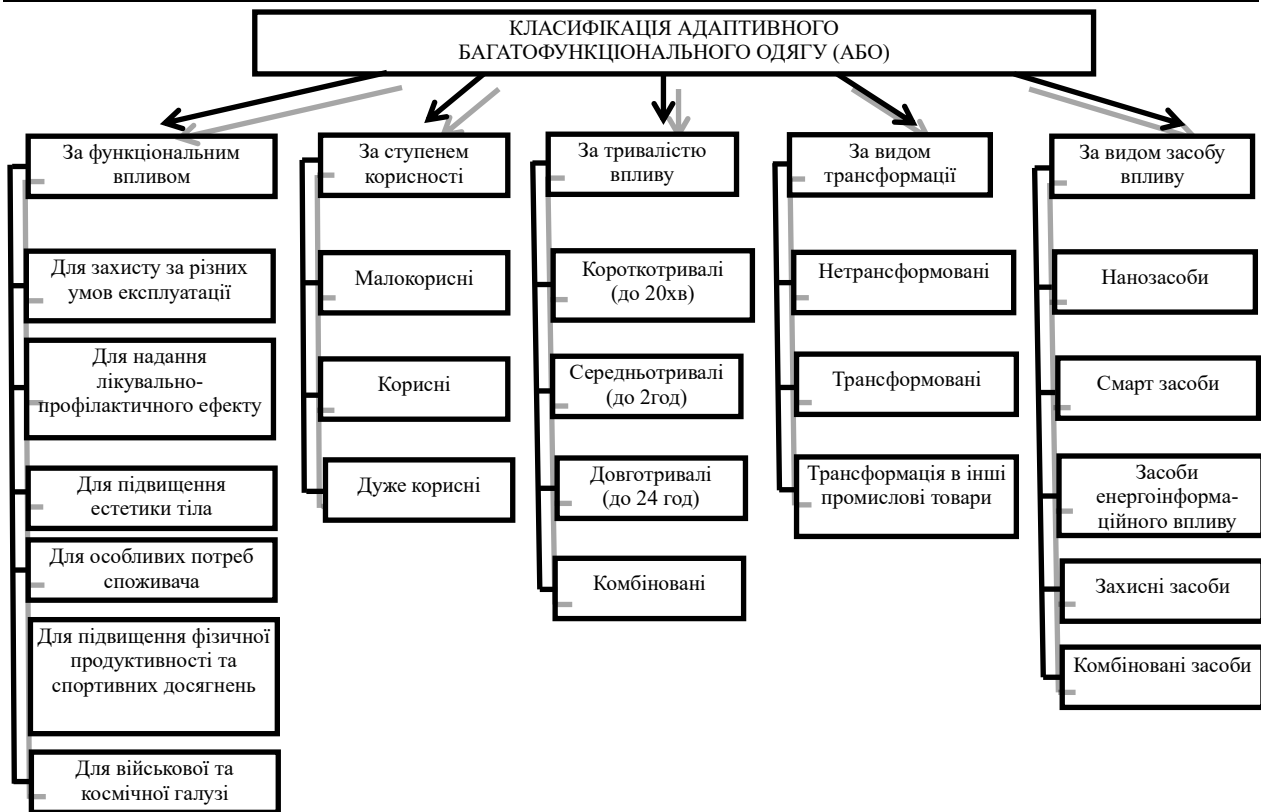


Рис. 1. Класифікація адаптивного багатофункціонального одягу

Таким чином, запропонована авторами класифікація АБО (рис. 1) дозволяє систематизовано підійти до його проектування із урахуванням багатофункціональності виробу, корисності та комфорту.

Багатофункціональність проєктованого головного убору в першу чергу планується забезпечити його захисними властивостями та естетичними, а також виробу планується надати лікувально-профілактичних властивостей, а саме позитивного впливу на психофізіологічний стан людини. В умовах сьогодення кожен українець перебуває у стані стресу, і відчуває його негативні наслідки. Тому виникає потреба у розробленні адаптивного багатофункціонального головного убору, який здійснюватиме позитивний вплив на стан організму людини. Зважаючи на те, що на голові і шиї людини розміщена значна кількість БАЗ та БАТ, через які можливо здійснювати корегуючий вплив на стан вегетативної нервової системи людини, доречним є розроблення

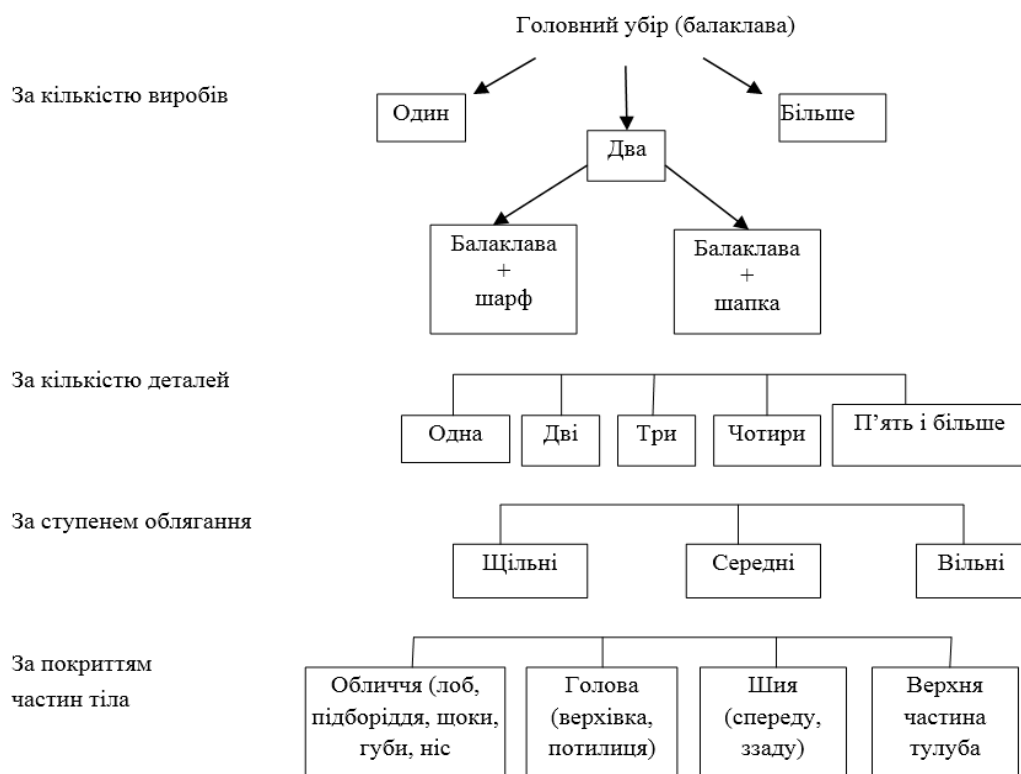


Рис. 2. Класифікація сучасних балаклав

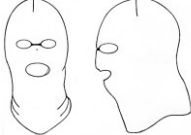
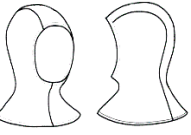



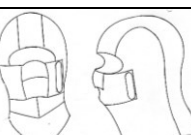

головного убору, який покриває ці ділянки. Таким виробом є балаклава. Балаклава є засобом захисту голови від несприятливих кліматичних умов (холод, вітер, дощ, сніг і т.д.). Цей головний убір може бути як підшоломник, одягатися під шапку і як самостійний головний убір (балаклава-маска), саме його експлуатують у кліматичних зонах із температурою від мінус 80 °С і нижче. Балаклава використовується як захисний одяг в армії і спецпідрозділах [15], а також для психологічного впливу на супротивника і анонімності. Балаклави широко застосовуються працівниками МНС, пожежними [16], їх використовують у спорті, гірському туризмі, також вони користуються популярністю серед різних екстремістів. Традиційно балаклав виготовляють із вовни, напівсинтетичного або синтетичного трикотажу. На основі аналізу сучасних балаклав сформовано їх класифікацію, яка представлена на рис. 2.

Комфортність балаклави включає з одного боку фізіологічний та психологічний аспекти з іншого – механічний та ергономічний. При цьому, більшу увагу слід зосереджувати на ергономічних вимогах та взаємозв'язку між поставленим завданням та використовуваним одягом. Аналізуючи багатоаспектний підхід до створення АБС, варто сказати, що балаклава повинна бути ергономічною конструкцією з відповідним динамічними антропометричними умовами використання, у той же час і комфортність одягу, і високий ступінь свободи руху є необхідними для виконання такого завдання.

Для забезпечення комфортності балаклави та покриття нею БАЗ та БАТ важливим є дослідження конструктивних вирішень сучасних балаклав та вибір найбільш раціональної конструктивної основи для подальшого проектування виробу. Для цього було розглянуто сучасні головні убори – балаклави різного призначення та проаналізовано їхні конструктивно-технологічні рішення (табл. 1).

Таблиця 1

Аналіз конструктивно-технологічних рішень балаклав

Ділянка тіла	Обличчя					Частина голови			Шия		Верхня частина тулуба			Призначення балаклави
	Лоб	Підборіддя	Ніс	Губи	Щоки	Верхня	Потилічна	Бічні	Спереду	Ззаду	Спереду	Ззаду	Плечі	
1  1 дет	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	захист від вітру і холоду
2  3 дет	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	захист від вітру і холоду
3  3 дет	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	для захисту від холоду (температурні умови - холодно, дуже холодно)
4  3 дет	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	для захисту від вітру, дощу, снігу і зігрівання обличчя
5  5 дет	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	для захисту від холоду
6  6 дет	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	для захисту від холоду та шторму
7  9 дет	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	для захисту від холоду

У результаті аналізу встановлено, що залежно від умов використання балаклави є декількох типів. Балаклава (модель 1, табл. 1), що закриває всю голову, виріз лише для очей, іноді є отвори для ніздрів, і використовується для зимової риболовлі, полювання, альпінізму, снігоходів, гірських походів взимку, навесні і восени. Найпоширенішою є балаклава з одним великим овальним вирізом, при цьому ніс і рот захищені (модель 2, табл. 1). Відмінно підходить для зимових прогулянок, походів, для катання на лижах та сноуборді. Перевага такої моделі у тому, що захищаючи більшу частину голови від холоду та вітру, такі балаклави зовсім не заважають дихати. Поширеними, але більш дорогішими є балаклави, що мають складові частини, які можна комбінувати залежно від умов (модель 3-5, табл. 1). Такі вироби мають знімну частину, що закриває рот і ніс. За рахунок трансформації функціональність виробів значно зростає. Моделі 6 та 7 (табл. 1) оснащені додатковими клапанами для фільтрації повітря, що досить актуально у часи пандемії, але вартість таких балаклав утричі вище ніж моделі 1.

Що стосується конструктивної побудови балаклав, то як показав аналіз усі моделі містять по одній основній деталі. Найчастіше зустрічаються конструкції балаклав із трьох деталей. Така конструкція дозволяє надати виробу необхідних захисних властивостей, можливості трансформації, що зробить виріб багатофункціональним. Тому для подальшого розроблення АБО обрано конструктивне рішення балаклави із трьох деталей, що покриває голову, шию та верхню частину тулуба. Таке рішення дозволить задіяти більше БАЗ та БАТ, через які здійснюватиметься позитивний енергоінформаційний вплив на стан організму людини.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Багатофункціональний одяг є багатоаспектним об'єктом, що охоплює різні галузі. Такий характер одягу вимагає інтеграції досліджень комфортності, функціональності, захисних властивостей матеріалів та одягу, включаючи охорону навколишнього середовища і сталість моди. У результаті дослідження ринкових пропозицій готових головних уборів, встановлено, що усі моделі сучасних балаклав розробляються в стилі «унісекс», тобто такими, що можуть експлуатуватись, як жінками, так і чоловіками, що дозволяє зменшити забруднення навколишнього середовища при їх виробництві та після закінчення строку експлуатації. Розроблена класифікація адаптивного багатофункціонального одягу та систематизація конструктивно-технологічних рішень балаклав дозволяє продовжити подальші дослідження з розширення функціональності головних уборів, шляхом підвищення їхньої адаптивності у системі «людина – одяг – навколишнє середовище».

Література

1. Salam A. et al.: Development of a Multifunctional Intelligent Elbow Brace (MIEB) Using a Knitted Textile Strain Sensor, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 30 (1(151)), 2022, pp. 22-30, DOI: [10.5604/01.3001.0015.6457](https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.6457).
2. Berezenko S.M. et al.: Integration of traditional and innovative scientific research: world trends and regional aspect: collective monograph / edited by authors, Riga, Latvia, Baltija Publishing, 2020, 310 p.
3. Buhantsova L. Formation of the package of materials of adaptive multifunctional clothing / Ludmyla Bukhantsova, Olena Lushevskaya, Oleksandr Troian, Larysa Krasniuk and Oleksandr Yantsalovskyi // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2017. - 3/3(35). - pp. 4-12, DOI: [10.15587/2312-8372.2017.102151](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.102151)
4. Sadretdinova N. et al. Functionalization of medical textiles // *Communications in Development and Assembling of Textile Products*. – 2020. - 1(2). - pp. 88-95, DOI: [10.25367/cdatp.2020.1.p88-95](https://doi.org/10.25367/cdatp.2020.1.p88-95)
5. Ma C. A multifunctional bioactive material that stimulates osteogenesis and promotes the vascularization bone marrow stem cells and their resistance to bacterial infection / Ma C, Wei Q, Cao B, Cheng X, Tian J, Pu H, et al. // *PLoS ONE*. – 2017. - №12(3). – 23 p, DOI: [10.1371/journal.pone.0172499](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172499)
6. Anna Maria Świdwińska-Gajewska nanosrebro – dopuszczalne poziomy narażenia zawodowego / Anna Maria Świdwińska-Gajewska, Sławomir Czerczak // *Medycyna Pracy*. – 2015. - №66(3). – P. 429–442, <http://dx.doi.org/10.13075/mp.5893.00177>
7. Patent US20200245932A1 United States, [A61B5/6803](https://patents.google.com/patent/US20200245932A1/en) Sensorized garments / [Lara Alessia, Laura Moltani, Luca Domenico ORLANDI](https://www.researchgate.net/publication/327542210_Wearable_Technology_Present_and_Future). - № T102019000001403; applicant COMFTECH Srl; stated 2020-03-03; published 2021-12-21 <https://patents.google.com/patent/US20200245932A1/en>
8. Ashwanth V. Biometric Gloves for Health Monitoring / Ashwanth V, Manan Jain, P. Prabhu // *International Journal of Recent Technology and Engineering*. – 2020. - Volume-9, Issue-2. – pp. 107-111, DOI: [10.35940/ijrte.B3158.079220](https://doi.org/10.35940/ijrte.B3158.079220)
9. Wilson S. Wearable Technology: Present and Future / Wilson S., Laing R. // *Electronic Materials*. – 2018, https://www.researchgate.net/publication/327542210_Wearable_Technology_Present_and_Future
10. Думанська Л. В. Розроблення напульсників із лікувально-профілактичними властивостями та оцінювання їхньої ефективності / Л. В. Думанська, О. М. Лушчевська, О. Й. Янцаловський // *Вісник КНУТД. Технічні науки*. – 2017. – № 6. – С. 89-95.
11. Yuliia Hlushko. Designing of adaptive multifunctional men's underwear / Yuliia Hlushko, Ludmyla Bukhantsova, Olena Lushevskaya, Oleksandr Troian, Larysa Krasniuk and Oleksandr Yantsalovskyi // *The proceeding of the International Conference on Technics, Technologies and Education ICTTE 2019, October 16-18*

2019, Yambol, Bulgaria. - pp. 328-335, DOI: 10.15547/icte.2019.06.011

12. Луцевська О.М. Удосконалення процесу проектування адаптивного багатофункціонального одягу / Луцевська О.М., Буханцова Л.В., Краснюк Л.В., Троян О.М., Янцаловський О.Й. // Вісник ХНУ. Технічні науки - 2019. - №5. - С.47-56.

13. Patent US9491979B2 United States, A42B1/205 Balaclava with removable face mask / [Kyoung Kim](#). - № US201361897357P; Balboa Manufacturing Company LLC; stated 2013-10-30; published 2016-11-15.

14. Patent KR101643625B1 South Korea, A42B1/04 Multifunctional Bandana / [박장호](#). - № DE102015122456.9A; stated 2015-04-15; published 2016-07-29, <https://patents.google.com/patent/DE102015122456B4/en>

15. Rozetka: Балаклава [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://rozetka.com.ua/search/?text=%D0%B1%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B0§ion_id=4674274&page=1 (дата звернення 19.06.2022).

16. Kukushkin M. The Design of the Comforter Made of Fire-Resistant Knitted Fabric / Maxim Kukushkin, Tatyana Sheremet, Natalya Ulyanova, Dmitry Kviatkouski // Vestnik of Vitebsk State Technological University. - 2019. - No 2 (37). - pp. 34 – 43, DOI: [10.24411/2079-7958-2019-13705](https://doi.org/10.24411/2079-7958-2019-13705)

References

1. Salam A. et al.: Development of a Multifunctional Intelligent Elbow Brace (MIEB) Using a Knitted Textile Strain Sensor, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 30 (1(151)), 2022, pp. 22-30, DOI: [10.5604/01.3001.0015.6457](https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.6457).

2. Bereznenko S.M. et al. Integration of traditional and innovative scientific research: world trends and regional aspect: collective monograph / edited by authors, Riga, Latvia, Baltija Publishing. – 2020. - 310 p.

3. Buhantsova L. Formation of the package of materials of adaptive multifunctional clothing / Ludmyla Buhantsova, Olena Lushevskaya, Oleksandr Troian, Larysa Krasniuk and Oleksandr Yantsalovskyi // Technology Audit and Production Reserves. – 2017. - 3/3(35). - pp. 4-12, DOI: [10.15587/2312-8372.2017.102151](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.102151)

4. Sadretdinova N. et al. Functionalization of medical textiles // Communications in Development and Assembling of Textile Products. – 2020. - 1(2). - pp. 88-95, DOI: [10.25367/cdatp.2020.1.p88-95](https://doi.org/10.25367/cdatp.2020.1.p88-95)

5. Ma C. A multifunctional bioactive material that stimulates osteogenesis and promotes the vascularization bone marrow stem cells and their resistance to bacterial infection / Ma C, Wei Q, Cao B, Cheng X, Tian J, Pu H, et al. // PLoS ONE. – 2017. - №12(3). – 23 p, DOI: [10.1371/journal.pone.0172499](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172499)

6. Anna Maria Świdwińska-Gajewska nanosrebro – dopuszczalne poziomy narażenia zawodowego / Anna Maria Świdwińska-Gajewska, Sławomir Czerczak // Medycyna Pracy. – 2015. - №66(3). – P. 429-442, <http://dx.doi.org/10.13075/mp.5893.00177>

7. Patent US20200245932A1 United States, [A61B5/6803](#) Sensorized garments / [Lara Alessia](#), [Laura Moltani](#), [Luca Domenico ORLANDI](#). - № T102019000001403; applicant COMTECH Srl; stated 2020-03-03; published 2021-12-21 <https://patents.google.com/patent/US20200245932A1/en>

8. Ashwanth V. Biometric Gloves for Health Monitoring / Ashwanth V, Manan Jain, P. Prabhu // International Journal of Recent Technology and Engineering. – 2020. - Volume-9, Issue-2. – pp. 107-111, DOI: [10.35940/ijrte.B3158.079220](https://doi.org/10.35940/ijrte.B3158.079220)

9. Wilson S. Wearable Technology: Present and Future / Wilson S., Laing R. // Electronic Materials. – 2018, https://www.researchgate.net/publication/327542210_Wearable_Technology_Present_and_Future

10. Dumanska L. V. Rozroblennia napulnykiv iz likuvalno-profilaktychnymy vlastyostiamy ta otsiniuvannia yikhnoi efektyvnosti / L. V. Dumanska, O. M. Lushchevska, O. Y. Yantsalovskyi // Visnyk KNUTD. Tekhnichni nauky. – 2017. – № 6. – S. 89-95.

11. Yuliia Hlushko. Designing of adaptive multifunctional men's underwear / Yuliia Hlushko, Ludmyla Buhantsova, Olena Lushevskaya, Oleksandr Troian, Larysa Krasniuk and Oleksandr Yantsalovskyi // The proceeding of the International Conference on Technics, Technologies and Education ICTTE 2019, October 16-18 2019, Yambol, Bulgaria. - pp. 328-335, DOI: 10.15547/icte.2019.06.011

12. Lushchevska O.M. Udokonalennia protsesu proektuvannia adaptivnoho bahatofunktsionalnoho odiahu / Lushchevska O.M., Buhantsova L.V., Krasniuk L.V., Troian O.M., Yantsalovskyi O.I. // Visnyk KhNU. Tekhnichni nauky - 2019. - №5. - S.47-56.

13. Patent US9491979B2 United States, A42B1/205 Balaclava with removable face mask / [Kyoung Kim](#). - № US201361897357P; Balboa Manufacturing Company LLC; stated 2013-10-30; published 2016-11-15.

14. Patent KR101643625B1 South Korea, A42B1/04 Multifunctional Bandana / [박장호](#). - № DE102015122456.9A; stated 2015-04-15; published 2016-07-29, <https://patents.google.com/patent/DE102015122456B4/en>

15. Rozetka: Balaklava [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu do resursu: https://rozetka.com.ua/search/?text=%D0%B1%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B0§ion_id=4674274&page=1 (data zvernennia 19.06.2022)

16. Kukushkin M. The Design of the Comforter Made of Fire-Resistant Knitted Fabric / Maxim Kukushkin, Tatyana Sheremet, Natalya Ulyanova, Dmitry Kviatkouski // Vestnik of Vitebsk State Technological University. - 2019. - No 2 (37). - pp. 34 – 43, DOI: [10.24411/2079-7958-2019-13705](https://doi.org/10.24411/2079-7958-2019-13705)

Рецензія/Peer review : 02.07.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

ОСЯДЛИЙ В. В.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7861-4684>e-mail: vitalik9865@gmail.com

МОСКАЛЕНКО А. О.

Міжнародний науково-технічний університет ім. академіка Ю. Бугая

<https://orcid.org/0000-0001-7433-3105>e-mail: a.moskalenko@istu.edu.ua

МЕТОД ВИКОНАННЯ ТРАНЗАКЦІЙ НАД МЕДИЧНИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГІЙ

Метою даного дослідження є підвищення ефективності керування медичними даними шляхом розроблення методу виконання транзакцій над медичними даними на основі блокчейн-технологій. Розроблено метод виконання транзакцій над медичними даними на основі блокчейн-технологій, який складається з етапів занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну. Розроблений метод виконання транзакцій над медичними даними забезпечує можливість прийняття рішення про додавання транзакцій та медичних даних від пацієнта у блокчейн; можливість прийняття рішення про видачу даних з блокчейну за запитом від лікаря.

Ключові слова: блокчейн-технологія, медичні дані, транзакції над медичними даними.

Vitaliy OSYADLYI

Khmelnytskyi National University

Artem MOSKALENKO

Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University

METHOD OF PERFORMING THE TRANSACTIONS ON MEDICAL DATA BASED ON BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES

Abstract. Today, healthcare decision-making processes are time consuming and complex. The productivity of health workers can be increased through the use of information technology. It is information technology that can reduce medical errors, provide more reliable solutions, and reduce health care costs. Today, medical information technology must meet 4 requirements: efficiency, safety, novelty and economic benefits. The healthcare sector in Ukraine has long been in need of change, and the many opportunities blockchain technology can help it lead the transformation of this area and meet these 4 requirements. Thus, increased attention to the technology of distributed registries has led to an understanding of the potential of blockchain technology in the health care system. Thus, the current challenge is the need to manage medical data based on blockchain technologies.

The conducted state-of-the-art on known decisions on the use of blockchain technologies in the construction of information technology for medical data management showed that, despite a large number of different solutions, effective methods and solutions for medical data management based on blockchain technologies are currently lacking. Thus, improving the efficiency of medical data management by developing methods of medical data management based on blockchain technologies is currently an urgent problem. The aim of this study is to increase the efficiency of medical data management by developing a method of performing transactions on medical data based on blockchain technologies.

A method of performing the transactions on medical data based on blockchain technologies has been developed, which consists of the stages of entering information into the blockchain and obtaining information from the blockchain. The developed method of performing the transactions on medical data provides: the ability to decide on the addition of transactions and medical data from the patient to the blockchain; the ability to decide on the issuance of data from the blockchain on request from a doctor.

Keywords: blockchain technology medical data, transactions on medical data.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сфера охорони здоров'я в Україні давно потребує змін, і безліч можливостей блокчейн-технології можуть допомогти їй очолити трансформацію цієї сфери та забезпечити відповідність вимогам ефективності, безпеки, новизни та економічної вигоди.

Блокчейн (від англійської blockchain) дослівно перекладається як ланцюг із блоків. У кожному з таких блоків у цифровому вигляді записана та чи інша інформація. Будь-який користувач може переглянути цю інформацію, але не може її змінити [1].

Кожен блок пов'язаний з попереднім та наступним блоком. Блоки утворюють ланцюжок даних по мірі того, як ресурс переміщується з одного місця до іншого або змінює власників. Блоки підтверджують точний час та порядок виконання транзакцій. Крім того, блоки нерозривно зчеплені один з одним, що виключає можливість зміни блоку або вставки між двома іншими блоками [2].

Блокчейн децентралізує медичну інформацію, підвищуючи доступність, ефективність, прозорість даних та довіру до них, але також вимагає ретельного планування, щоб максимально використати переваги, які він приносить [3].

За допомогою блокчейну користувачі можуть зберігати важливі медичні дані, оригінальність яких можна перевірити, якщо є підозра на підробку. Крім того, можуть бути використані криптографічні алгоритми для забезпечення конфіденційності медичних даних (наприклад, зловмисник не зможе прочитати текст, якщо він вкрав дані) [4].

Блокчейн потенційно може використовуватися для полегшення обміну медичними даними. Блокчейн-рішення пропонують ефективні підходи до надійного управління медичними даними, коли зберігаються та обробляються конфіденційні дані пацієнтів. Наразі багато інституційних та промислових

закладів вже визнали важливість технології для сектора охорони здоров'я, а також сформулювали основні ідеї, концепції та основні варіанти використання [5].

Відтак, наразі актуальною задачею для України є потреба у керуванні медичними даними, зокрема, виконанням транзакцій над медичними даними, на основі блокчейн-технологій.

Процес виконання транзакцій над медичними даними

Блокчейн – це система зберігання записів, в якій безліч незалежних джерел підтверджують достовірність запису, перш ніж він буде доданий в ланцюжок даних. Після того, як дані додані, вони не можуть бути змінені, і запис поширюється різними вузлами мережі. Додавання нового запису (блоку) у послідовність блокчейна вимагає встановлення його справжності безліччю учасників, підключених до мережі блокчейн. Ці блоки даних зв'язуються один з одним, утворюючи ланцюжок. Всі учасники блокчейну можуть бачити всі транзакції, що здійснюються, але особи всіх учасників приховані.

Транзакції розміщуються в блоках і підтверджуються валідаторами, які перевіряють якість та справжність даних, завантажених користувачами (пацієнтами). Непідтверджена транзакція не може вважатися закінченою – до збереження в блокчейні вона може бути скасована або змінена.

Транзакція у блокчейні з технічного погляду – атомарна подія, дозволена базовим протоколом. Інакше кажучи, транзакція – це подія, у міру проведення якої оновлюється інформація в блокчейні. Єдина відмінність полягає в тому, що така зміна спектра даних стосується не певного комп'ютера, а всіх підключених до блокчейн-мережі пристроїв у всій планеті.

У блоках блокчейну зберігаються такі дані про транзакції: дані транзакції – дата, час, передані дані; дані про учасників транзакції – адреса відправника та одержувача; дані про кожен блок – це унікальний код (хеш), завдяки якому блоки можна розрізняти між собою. Всі блоки містять запис транзакцій з позначкою часу, причому кожен новий блок пов'язаний з попереднім, завдяки чому створюється безперервний ланцюжок.

Сама ж транзакція складається з трьох елементів: вхід, вихід та дані транзакції. Вхід транзакції – адреса, з якої здійснюється надсилання даних. Вихід транзакції – адреса, на яку надійдуть дані. Дані транзакції – це передані медичні дані.

Слід зазначити, що в міру трансляції транзакції в блокчейні ніхто не може змінити хід подій, оскільки можливість скасування або повернення не існує. До того ж дані транзакції блокчейн неможливо змінити, не кажучи вже про їх видалення.

Саме завдяки цим характеристикам блокчейн транзакції мають величезну перевагу. Постійний характер технології блокчейн робить її ідеальним варіантом для реалізації в різних сферах.

Розглянемо особливості транзакцій при роботі з медичними даними. Процес виконання транзакцій над медичними даними (занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну) представимо у вигляді схеми – рисунок 1.

Метод виконання транзакцій над медичними даними на основі блокчейн-технологій

Занесення медичних даних до блокчейну відбувається за наступною процедурою.

Спочатку в хмарне сховище користувачі завантажують дані, які анонімізуються, а потім шифруються методом симетричного шифрування. Далі ключі відправляються зберігачам прямими аутентифікованими каналами зв'язку для забезпечення можливості розшифрувати дані користувача. В цей же час відбувається генерація службової транзакції, що містить відкритий ключ, інформацію про тип даних та посилання на них у хмарному сховищі і яка повідомляє інших учасників екосистеми про завантаження даних у хмару. Інформація може бути записана у блокчейн після накладання електронного підпису.

Потім, якщо для проведення досліджень або постановки діагнозу ці дані знадобляться лікарю, він сформує запит, який відправляється валідаторам. Валідатори додають запит у блокчейн із повідомленням зберігачів, що лікареві потрібні криптографічні ключі для дешифрування даних із хмарного середовища. Аналогічно процес отримання інформації виглядає для дослідницьких інститутів, фармацевтичних компаній, державних медичних установ.

Тоді *метод виконання транзакцій над медичними даними на основі блокчейн-технологій* складається з наступних кроків:

І етап – занесення інформації до блокчейну:

- 1) завантаження даних користувачами (пацієнтами) в хмарне середовище;
- 2) анонімізація (видалення ідентифікатора пацієнта) даних;
- 3) шифрування даних методом симетричного шифрування;
- 4) відправка ключів зберігачам по прямим аутентифікованих каналах зв'язку;
- 5) генерація службової транзакції (з відкритим ключем, інформацією про тип даних та посиланням на дані у хмарному середовищі), яка повідомляє інших учасників екосистеми про завантаження даних у хмару;
- 6) прийняття рішення про можливість додавання медичних даних у блокчейн за допомогою алгоритму консенсусу (блок порівнюється з кожним екземпляром реєстру; якщо всі екземпляри реєстру співпадають, то транзакція затверджується);
- 7) перевірка інформації валідаторами;

- 8) генерація службової транзакції (з хешами даних та результатом валідації);
 9) якщо дані пройшли перевірку, то відбувається запис інформації у блокчейн, і інформація про пацієнта стає доступною для інших учасників, інакше користувачу надається відмова у записі інформації до блокчейну;



Рис. 1. Процес виконання транзакцій над медичними даними

II етап – отримання інформації з блокчейну:

10) якщо лікарю для проведення досліджень або постановки діагнозу необхідні певні дані, то відбувається формування запиту до валідаторів;

11) додавання запиту валідаторами у блокчейн;

12) повідомлення валідаторами зберігачів, що потрібно надіслати лікарю криптографічні ключі для розшифровки даних із хмари;

13) отримання даних – якщо отримано дозвіл від валідаторів та зберігачів.

Метод виконання транзакцій над медичними даними (занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну) представимо у вигляді схеми – рисунок 2.

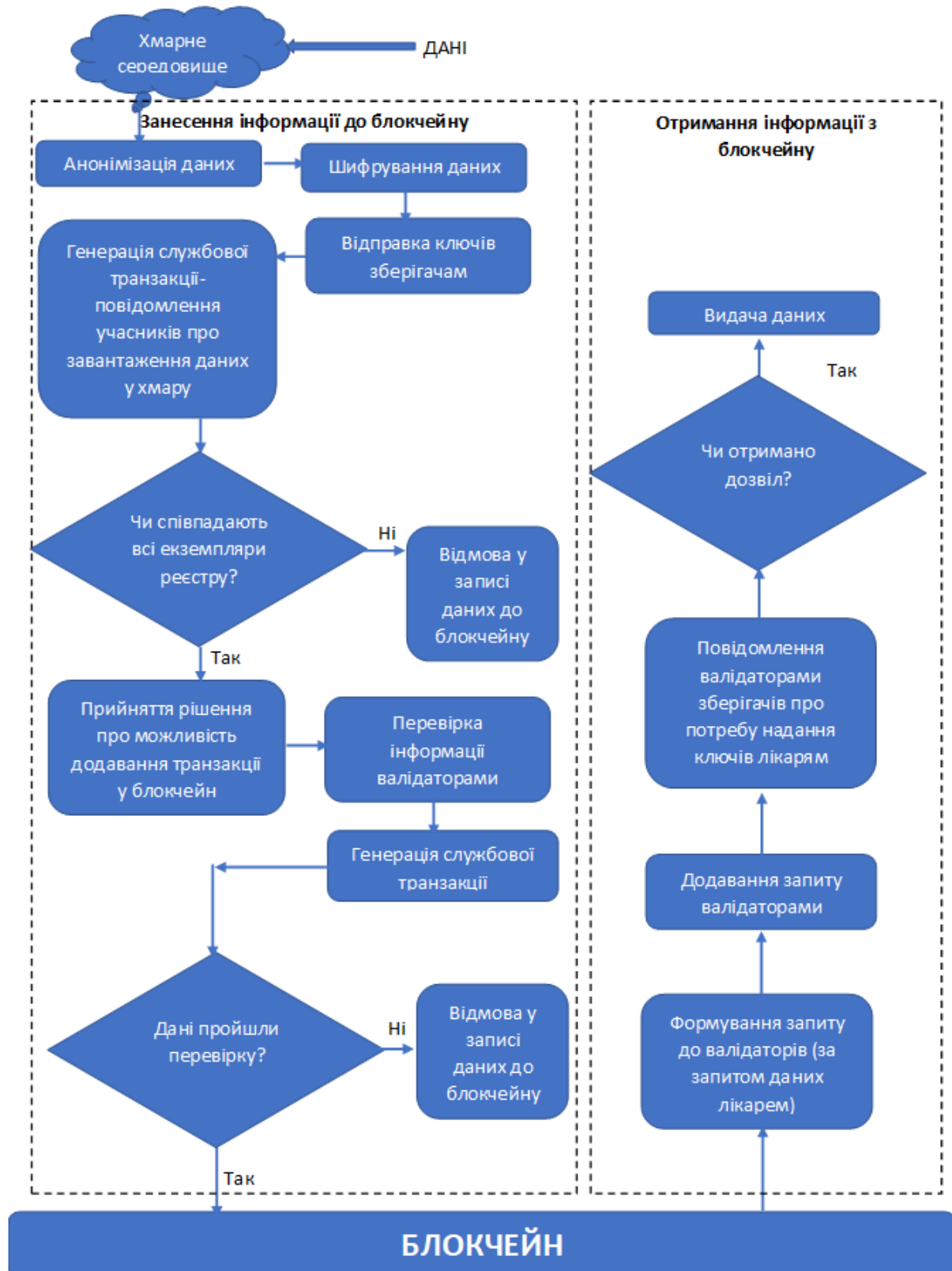


Рис. 2. Схема методу виконання транзакцій над медичними даними

Розроблений метод виконання транзакцій над медичними даними складається з етапів занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну. Розроблений метод виконання транзакцій над медичними даними забезпечує: можливість прийняття рішення про додавання транзакції та медичних даних від пацієнта у блокчейн; можливість прийняття рішення про видачу даних з блокчейну за запитом від лікаря.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

На сьогодні процеси прийняття рішень у сфері охорони здоров'я є трудомісткими та складними. Продуктивність праці медичних працівників може бути збільшена завдяки використанню інформаційних технологій. Саме інформаційні технології можуть зменшити кількість медичних помилок, надати більш надійні рішення та зменшити витрати на охорону здоров'я. Сьогодні медичні інформаційні технології повинні відповідати 4 вимогам: ефективність, безпека, новизна та економічна вигода. Сфера охорони здоров'я в Україні давно потребує змін, і безліч можливостей блокчейн-технологій можуть допомогти їй очолити трансформацію цієї сфери та забезпечити відповідність зазначеним 4-м вимогам. Таким чином, підвищена увага до технології розподілених реєстрів привела до розуміння потенціалу застосування блокчейн-технологій в системі охорони здоров'я. Отже, наразі актуальною задачею є потреба у керуванні медичними даними на основі блокчейн-технологій. Метою даного дослідження є підвищення ефективності керування медичними даними шляхом розроблення методу виконання транзакцій над медичними даними на основі блокчейн-технологій.

Розроблено метод виконання транзакцій над медичними даними на основі блокчейн-технологій, який складається з етапів занесення інформації до блокчейну та отримання інформації з блокчейну. Розроблений метод виконання транзакцій над медичними даними забезпечує можливість прийняття рішення про додавання транзакції та медичних даних від пацієнта у блокчейн; можливість прийняття рішення про видачу даних з блокчейну за запитом від лікаря.

Література

1. Xu Z., Zou C. What can blockchain do and Cannot do? China Economic Journal. 2021. Vol. 14. Issue 1. P. 4-25.
2. Li W., He M., Sang H. An Overview of Blockchain Technology: Applications, Challenges and Future Trends. 2021 IEEE 11th International Conference On Electronics Information and Emergency Communication: Proceedings. Beijing, 2021. P. 31-39.
3. Transform healthcare outcomes with the simplicity of IBM Blockchain. URL: <https://www.ibm.com/downloads/cas/DQPLDP8N>.
4. Kim T., Lee S., Chang D., Koo J., Kim T., Yoon K., Choi I. DynamiChain: Development of Medical Blockchain Ecosystem Based on Dynamic Consent System. Applied Sciences-Basel. 2021. Vol. 11. Issue 4. Article number 1612.
5. Zou R., Lv X., Zhao J. SPChain: Blockchain-based medical data sharing and privacy-preserving eHealth system. Information Processing & Management. 2021. Vol. 58. Issue 4. Article number 102604.

Рецензія/Peer review : 06.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

ПАТЛАНЬ Д. В.

Черкаський державний технологічний університет
<https://orcid.org/0000-0003-3773-1619>
e-mail: d.v.patlan.fetr18@chdtu.edu.ua

ПАЛАГІНА О. А.

Черкаський державний технологічний університет
<https://orcid.org/0000-0002-5395-5092>
e-mail: palahina@ukr.net

ІВЧЕНКО О. В.

Черкаський державний технологічний університет
<https://orcid.org/0000-0002-6716-1939>
e-mail: sania_ivchenko@ukr.net

ПАЛАГІН В. В.

Черкаський державний технологічний університет
<https://orcid.org/0000-0003-1903-6022>
e-mail: palahin@ukr.net

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИМЕТРИЧНОГО БЛОКОВОГО ШИФРУВАННЯ

В роботі показана модифікація алгоритму блокового симетричного шифрування AES (Advanced Encryption Standard). При практичній реалізації модифікованого алгоритму показана можливість об'єднання ряду математичних операцій, які мають схожий принцип опрацювання елементів, що дозволило скоротити час обробки даних при їх шифруванні та дешифруванні у порівнянні з відомою реалізацією. Крім того, в удосконаленій реалізації операція MixColumns використовує попередньо обчислені таблиці пошуку необхідного значення, що також сприяє підвищенню швидкодії перетворень, але за рахунок більшого обсягу пам'яті для розміру коду.

Ключові слова: блоковий шифр, симетричне кодування, об'єднання операцій обробки даних, оптимізація часу обробки даних.

Dana PATLAN, Elena PALAHINA, Oleksandr IVCHENKO, Volodymyr PALAHIN
Cherkassy State Technological University

THE METHOD OF INCREASING THE EFFICIENCY OF SYMMETRICAL BLOCK ENCRYPTION

Ensuring data safety and security are relevant in any sphere of human activity, which is directly related to the implementation of modern and advanced symmetric and asymmetric algorithms and methods of cryptographic protection of information. One of the well-known and safe encryption algorithms, known as AES (Advanced Encryption Standard), which is endowed with the properties of ease of practical implementation and high reliability, has found its wide application for block symmetric data encryption. A feature of symmetric encryption is the processing of large amounts of information, the use of the same key for encryption and decryption, high reliability of data protection. This paper proposes to improve this algorithm to provide faster data processing. All modifications of the AES transformations do not reduce the high cryptographic strength of the cipher, and their principles are described in detail in the paper. This practical implementation of the optimized algorithm shows the possibility of combining a number of mathematical operations that have a similar principle of processing elements, which allowed to reduce the processing time. In addition, in the improved implementation the MixColumns operation uses pre-calculated lookup tables of the required value, which also helps to increase the speed of transformations but at the cost of more memory for the code size. A comparative analysis of the practical implementation of the standard and optimized AES algorithms has been carried out, and numerical indicators of the processing time of test data have been obtained, which are presented in the form of tables. Graphs of the dependence of the encryption and decryption procedure execution time on the file size for the standard and optimized AES algorithms have been constructed. The results show a significant percentage of optimization - up to 50% for encryption and up to 75% for decryption of data.

Keywords: block cipher, symmetric coding, combining data processing operations, optimization of data processing time.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Захист інформації від несанкціонованого доступу та її використання має велике значення і реалізується методами криптології. Сучасні проблеми захисту інформації пов'язані з надійністю та швидкістю алгоритмів, які використовуються для обробки даних. Правильний вибір та практичне застосування конкретного алгоритму шифрування залежить безпосередньо від задачі захисту даних. Одним із поширених, надійних та відомих алгоритмів шифрування є AES (Advanced Encryption Standard), також відомий як Rijndael, який є симетричним блоковим шифром [1]. Він має високу ефективність та криптостійкість і підходить для опрацювання великих розмірів даних, є предметом багатьох сучасних досліджень і розробок [2].

Швидкість виконання процедур шифрування та розшифрування даних за допомогою алгоритму AES залежить від розміру ключа, адже в залежності від його довжини варіюється і кількість раундів шифрування, і час формування раундових ключів. Навіть якщо використовувати ключі довжиною в 128 біт, при великих обсягах даних буде відчутна затримка в часі. Тому вже існує безліч ефективних апаратних та апаратно-програмних реалізацій для оптимізації AES [3-9].

Зазначимо, що результати оптимізації роботи алгоритму AES можуть бути розповсюджені і на функціонування симетричного блокового алгоритму «Калина», який став національним стандартом

шифрування [10, 11], що забезпечує високу розсіюваність даних та їх перемішування.

Разом з тим необхідно відмітити гостру необхідність у підвищенні ефективності симетричних блокових криптоалгоритмів через проведення різноманітних оптимізаційних процедур і впровадженні нових методів для скорочення часу обробки, що пов'язано з постійним зростанням потоків даних, які обробляються, в тому числі в режимі реального часу [12].

Щодо прискорення виконання операцій шифрування та дешифрування у програмному коді без використання апаратного прискорення чи додаткових модулів, то таких сучасних реалізацій доволі мало [13]. Таким чином існує необхідність удосконалення алгоритму AES без значних змін у перетвореннях, які можуть вплинути на криптостійкість шифру.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є зменшення часу криптографічної обробки даних у симетричному блоковому криптоалгоритмі AES шляхом оптимізації математичних операцій та вдосконалення програмної реалізації без зниження криптостійкості алгоритму.

Метод оптимізації процедурних перетворень

Шифрування та дешифрування AES засновані на чотирьох різних перетвореннях, які виконуються багаторазово в певній послідовності. Математичні основи побудови алгоритму описані в [1, 14] та представлено загальну структуру AES (рис.1), де відбувають раундові процеси шифрування та дешифрування даних, тривалість обробки яких залежить від довжини ключа шифрування.

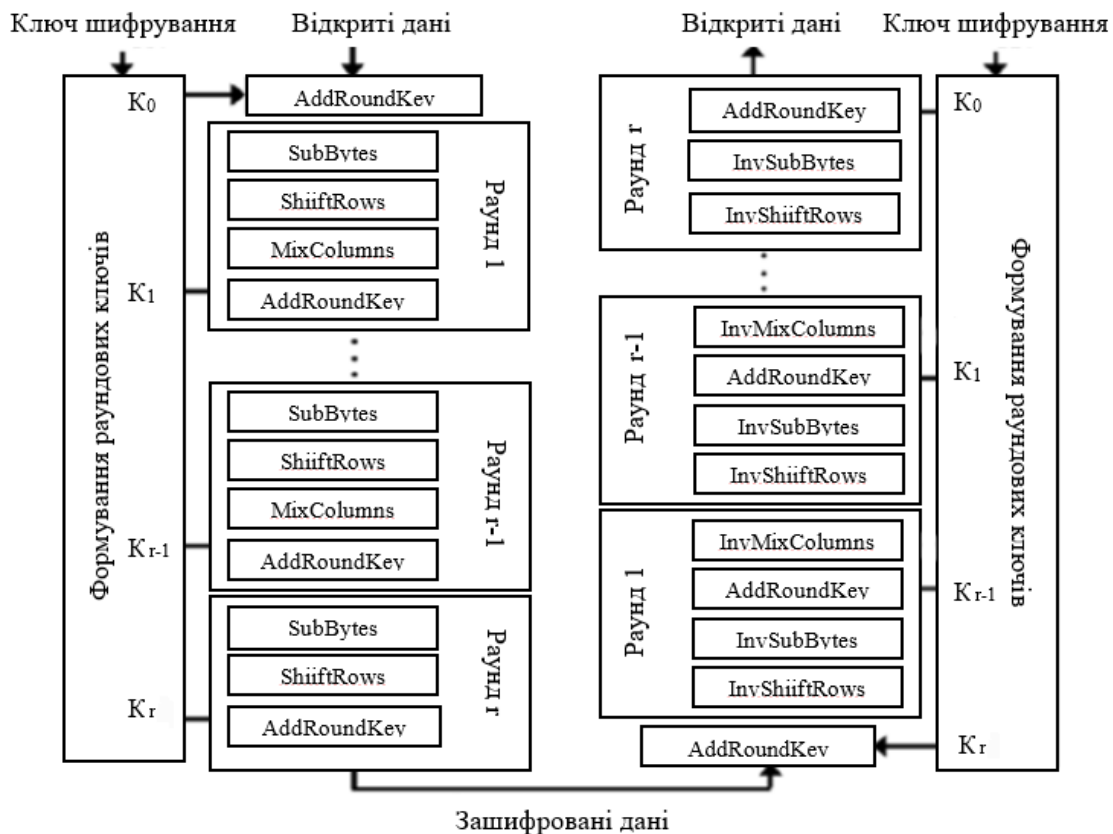


Рис. 1. Загальна структура основних перетворень в криптоалгоритмі AES

Один із шляхів підвищення швидкості обробки даних полягає в удосконаленні принципів роботи з матрицею State – матрицею станів, розмір якої фіксований і дорівнює 128 біт. Така матриця має 4 рядки і 4

стовпці, причому заповнення даного блоку відбувається по стовпцям. Відповідно, після усіх раундових перетворень, результат шифрування потрібно буде також зчитувати по стовпцям вихідного масиву зашифрованих байтів, що вимагає додаткових обчислень та ініціалізацію

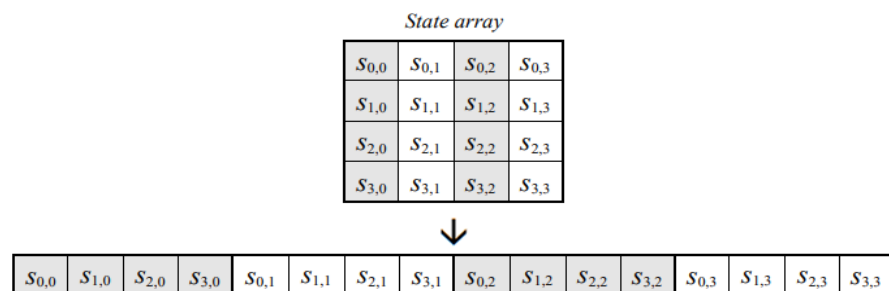


Рис. 2. Заповнення модифікованого масиву State

циклу. Заповнимо блок даних у вигляді одновимірного масиву, але теж по стовпцям. Тоді масив State буде мати принцип заповнення, представлений на рис. 2.

Оскільки операції MixColumns та AddRoundKey працюють зі стовпцями, за такого заповнення модифікація цих перетворень не буде складною. До того ж, тоді буде відсутня необхідність перетворення матриці результату у рядок даних.

Крім модифікацій окремих раундових перетворень, можна прискорити виконання шифрування шляхом їх об'єднання. Наприклад, якщо об'єднати дві операції, які мають схожі цикли у програмному коді, то він буде проходити вдвічі менше ітерацій циклів, що значно скоротить час обробки даних. Отже, при практичній реалізації оптимізованого алгоритму, потрібно за можливості об'єднати операції, які мають схожий принцип опрацювання елементів.

MixColumns – складна процедура змішування колонок, де кожна колонка матриці State перемножується з фіксованим многочленом, який має еквівалентний матричний запис (1).

$$\begin{bmatrix} s'_0 \\ s'_1 \\ s'_2 \\ s'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 02 & 03 & 01 & 01 \\ 01 & 02 & 03 & 01 \\ 01 & 01 & 02 & 03 \\ 03 & 01 & 01 & 02 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Принцип операцій InvMixColumns той самий, але кожна колонка State перемножується з іншим визначеним многочленом. У матричній формі це виглядає наступним чином (2):

$$\begin{bmatrix} s'_0 \\ s'_1 \\ s'_2 \\ s'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0e & 0b & 0d & 09 \\ 09 & 0e & 0b & 0d \\ 0d & 09 & 0e & 0b \\ 0b & 0d & 09 & 0e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Для опрацювання однієї колонки потрібно виконати 8 (адже множення на {01} не змінює числа) операцій множення для шифрування та 16 операцій для дешифрування, тоді тільки для одного раунду – це 24/64 операції множення на визначені константи. Замість реалізації таких операцій множення можна використати попередньо обчислені таблиці для пошуку необхідного значення. Тоді потрібно визначити 6 таких таблиць – дві для процесу шифрування та чотири для процесу розшифрування.

Запишемо у рядок даних результати множення усіх можливих чисел до 1 байту (256 біт) на {02}. Те ж саме потрібно обрахувати для інших констант – {03}, {09}, {0b}, {0d}, {0e} (табл. 1). Отже, в програмній реалізації необхідно ініціювати 6 таблиць по 256 біт [15].

Таблиця 1

Приклад формування допоміжних таблиць для MixColumns

	Число, яке потрібно помножити										
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	...
Результат множення на {02}	00	02	04	06	08	0a	0c	0e	0e	12	...
Результат множення на {03}	00	03	06	05	0c	0f	0a	09	18	1b	...
А також множення на {09}, {0b}, {0d}, {0e}											

		y															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f
x	0	63	7c	77	7b	f2	6b	6f	c5	30	01	67	2b	fe	d7	ab	76
	1	ca	82	c9	7d	fa	59	47	f0	ad	d4	a2	af	9c	a4	72	c0
	2	b7	fd	93	26	36	3f	f7	cc	34	a5	e5	f1	71	d8	31	15
	3	04	c7	23	c3	18	96	05	9a	07	12	80	e2	eb	27	b2	75
	4	09	83	2c	1a	1b	6e	5a	a0	52	3b	d6	b3	29	e3	2f	84
	5	53	d1	00	ed	20	fc	b1	5b	6a	cb	be	39	4a	4c	58	cf
	6	d0	ef	aa	fb	43	4d	33	85	45	f9	02	7f	50	3c	9f	a8
	7	51	a3	40	8f	92	9d	38	f5	bc	b6	da	21	10	ff	f3	d2
	8	cd	0c	13	ec	5f	97	44	17	c4	a7	7e	3d	64	5d	19	73
	9	60	81	4f	dc	22	2a	90	88	46	ee	b8	14	de	5e	0b	db
	a	e0	32	3a	0a	49	06	24	5c	c2	d3	ac	62	91	95	e4	79
	b	e7	c8	37	6d	8d	d5	4e	a9	6c	56	f4	ea	65	7a	ae	08
	c	ba	78	25	2e	1c	a6	b4	c6	e8	dd	74	1f	4b	bd	8b	8a
	d	70	3e	b5	66	48	03	f6	0e	61	35	57	b9	86	c1	1d	9e
	e	e1	f8	98	11	69	d9	8e	94	9b	1e	87	e9	ce	55	28	df
	f	8c	a1	89	0d	bf	e6	42	68	41	99	2d	0f	b0	54	bb	16

Рис. 3. Таблиця підстановок для операції SubBytes

Тоді залишається лише знайти в таблиці потрібне число. Значення елементу масиву State і буде індексом, за яким потрібно шукати елемент у визначених таблицях для MixColumns. А оскільки дане перетворення має пройти 4 ітерації, як і перетворення AddRoundKey, можна їх об'єднати в одну функцію. Проте варто зазначити, що при шифруванні спочатку виконується операція MixColumns, а потім AddRoundKey, а при дешифруванні – навпаки. До того ж, в останньому раунді не можна змішувати колонки, для забезпечення розшифрування тексту, тому хорошим рішенням є залишити функцію AddRoundKey, яка буде застосовуватися лише в останньому раунді шифрування. Така реалізація дає змогу позбавитися 36-48 (в залежності від кількості раундів) ітерацій проходження циклів.

SubBytes – це операція заміни байтів, яка працює незалежно від кожного байта матриці даних за допомогою таблиці підстановки S-box (рис. 3). Наприклад, якщо елемент матриці $s=\{53\}$, то значення підстановки буде визначатися перетином рядка з індексом «5» і стовпця з індексом «3». Значення елементу s перетвориться на $\{ed\}$.

Візуально можна легко розділити значення елементу на дві частини і отримати індекси рядка і стовпця таблиці підстановок. Проте програмна реалізація потребує математичних перетворень для визначення окремо першої та другої цифри елементу. Для вирішення цієї проблеми можна записати таблицю S-box у вигляді одновимірного масиву з 256 елементами. Тоді не потрібно обчислювати індекси рядка та стовпця. Наприклад, елемент матриці $s=\{53\}$ стане 53₁₆-тим елементом в масиві S-box, і це значення співпадає зі значенням на перетині рядка з індексом «5» і стовпця з індексом «3». Тоді програма буде відразу шукати потрібний елемент в таблиці констант. І хоча пошук такого елемента вручну здається трудомістким процесом, програмна реалізація позбавиться щонайменше 32 операцій ділення за один раунд шифрування та 22-30 (в залежності від кількості раундів) операцій під час процесу розширення ключа.

ShiftRows – це операція впорядкування елементів матриці State, яка виконує циклічний зсув кожного рядка. Довжина циклічного зсуву в кожному рядку різна. Нульовий рядок залишається без змін, у першому рядку кожен елемент зсувається на одну позицію ліворуч, елементи другого і третього рядка зміщуються на дві та три позиції відповідно.

Дане перетворення працює з рядками, а оновлений блок даних State має лише один, причому елементи одного рядка зі звичайної матриці розкидані по всьому масиву. Отже, необхідно знайти зручний і швидкий спосіб реалізації циклічного зсуву. Для кожного елементу такого блоку можна створити таблицю індексів [16]. Така таблиця буде вказувати, куди повинен переміститися кожний елемент. Наприклад, якщо нульовий рядок не зміниться, отже 0-й, 5-й, 9-й і 13-й елементи повинні так і залишитися на 0-й, 5-й, 9-й і 13-й позиції відповідно. Вирахуємо індекси інших елементів та занесямо їх в таблицю (табл. 2).

Таблиця 2

Зіставлення елементів в операції ShiftRows

Нове значення індексу	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Старе значення індексу	0	5	10	15	4	9	14	3	8	13	2	7	12	1	6	11

InvShiftRows здійснює циклічний зсув вже вправо на 1 елемент для першого рядка State, на 2 для другого і на 3 для третього. Нульовий рядок знову не змінюється. Відповідно і для інверсного перетворення також потрібно створити таку таблицю (табл. 3).

Таблиця 3

Зіставлення елементів в операції InvShiftRows

Нове значення індексу	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Старе значення індексу	0	13	10	7	4	1	14	11	8	5	2	15	12	9	6	3

Об'єднаємо змінені операції ShiftRows та SubBytes у одну функцію. Це дозволить зменшити кількість циклів у обох операціях; програмна реалізація загалом позбавиться 160-224 (в залежності від кількості раундів) ітерацій проходження циклу. Тобто, завдяки такому об'єднанню, замість 32 ітерацій за раунд вже будемо використовувати 16.

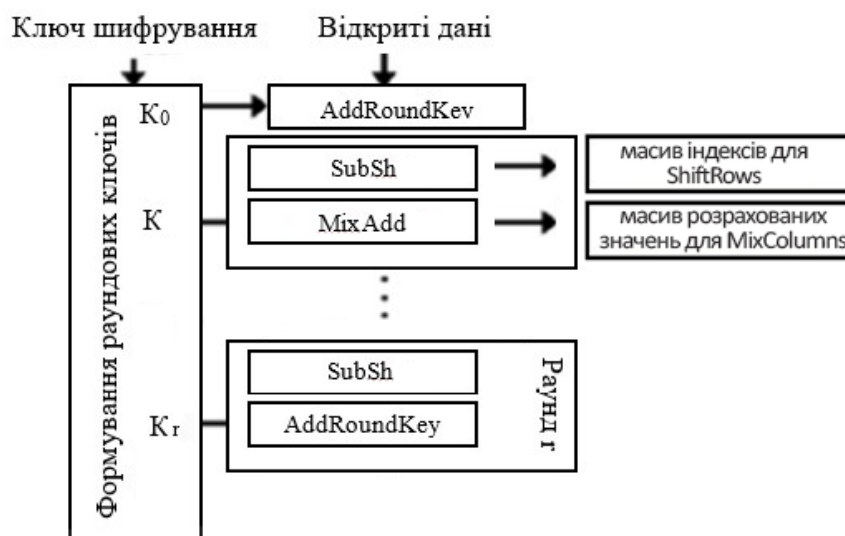
На рис.4. представлена спрощена схема оптимізованого криптоалгоритму AES, де процес дешифрування матиме схожий принцип.

Результати впровадження оптимізації процедурних перетворень та їх обговорення

Для визначення ступеня оптимізації криптоалгоритму AES необхідно порівняти час, який потрібен для шифрування та дешифрування для двох програмних версій алгоритму – традиційної та удосконаленої. Для програмної реалізації алгоритму було обрано мову програмування з відкритим вихідним кодом – Python. Оцінка продуктивності на основі часу виконання програми представлена в операційній системі Windows 10.

Оскільки стандарт підтримує три довжини ключа 128 біт, 192 біт та 256 біт, то для отримання кращої порівняльної характеристики були проведені дослідження для цих трьох випадків. За основу взято

Складемо порівняльну таблицю часу шифрування (табл. 4) та розшифрування (табл. 5) криптоалгоритмів. Колонка «До» містить час шифрування для класичної реалізації шифру, колонка «Після» - після його удосконалення. Колонка «Економія часу» має розрахований відсоток економії часу, необхідного для обробки файлу завдяки оптимізації суміщення операцій.



Таблиця 4

Шифрування									
	AES-128			AES-192			AES-256		
Розмір даних, кБ	До, с	Після, с	Економія часу, %	До, с	Після, с	Економія часу, %	До, с	Після, с	Економія часу, %
1	0,02	0,01	50	0,02	0,01	52	0,03	0,01	53
10	0,23	0,12	48	0,27	0,13	52	0,3	0,15	50
50	1,43	0,86	40	1,61	0,95	41	1,78	1,01	43
100	3,57	2,42	33	3,93	2,59	34	4,32	2,75	36
200	9,74	7,52	23	10,48	7,68	27	10,9	7,85	28

Результати оптимізації алгоритму: дешифрування									
Дешифрування									
	AES-128			AES-192			AES-256		
Розмір даних, кБ	До, с	Після, с	Економія часу, %	До, с	Після, с	Економія часу, %	До, с	Після, с	Економія часу, %
1	0,05	0,01	76	0,06	0,01	75	0,07	0,01	77
10	0,52	0,13	75	0,62	0,15	76	0,72	0,17	76
50	2,87	0,93	68	3,37	1,06	69	3,89	1,09	72
100	6,45	2,51	61	7,43	2,73	63	8,48	2,93	65
200	15,53	7,74	50	17,35	7,89	55	19,31	8,19	58

Оскільки для різної довжини ключа значення часу обробки даних дуже схожі, можна взяти середні показники (а саме для середньої довжини ключа – 192 біт) для формування графіків порівняння необхідного часу для шифрування (рис. 5) та для дешифрування (рис. 6) реалізованих криптоалгоритмів.

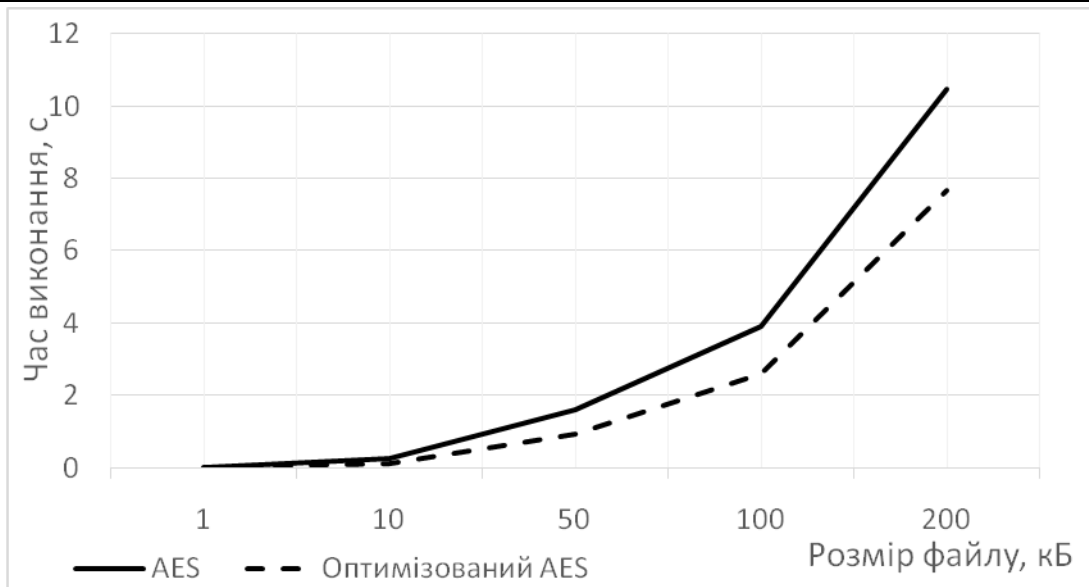


Рис. 5. Залежність часу виконання процедур шифрування від розміру файлу для стандартного і оптимізованого алгоритмів AES.

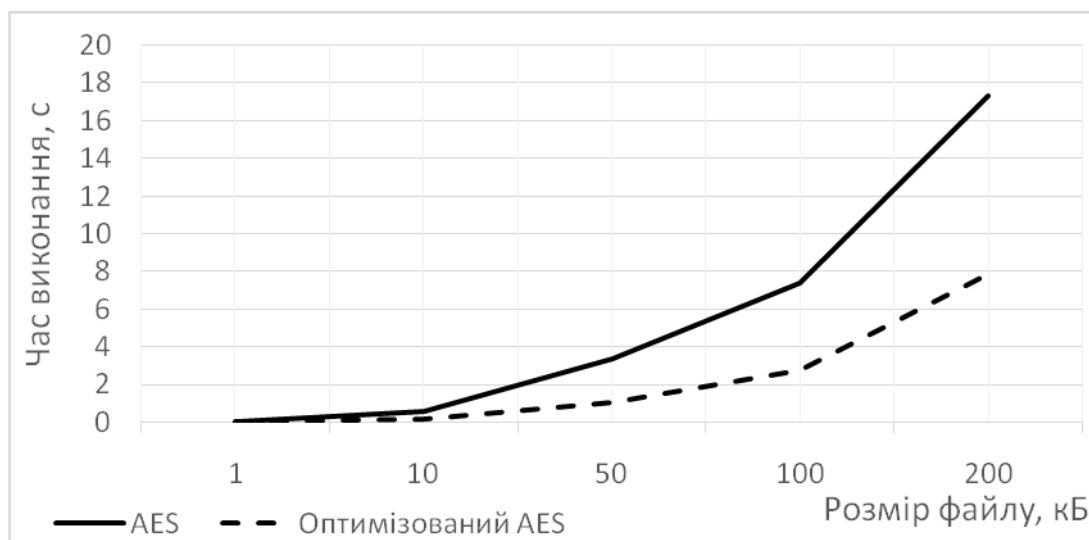


Рис. 6. Залежність часу виконання процедур дешифрування від розміру файлу для стандартного і оптимізованого алгоритмів AES.

Дослідження показали, що запровадження оптимізаційних процедур обробки даних дозволяє суттєво скоротити час шифрування та дешифрування у порівнянні з класичною реалізацією. Скорочення часу обробки залежить як від розміру ключа, так і від обсягу даних, які обробляються. Модифікована реалізація AES демонструє значний відсоток часової оптимізації – до 50% при шифруванні та до 75% при дешифруванні даних.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В роботі запропонований новий метод оптимізації роботи алгоритму AES, який базується на об'єднанні ряду математичних операцій обробки даних, які мають схожий принцип опрацювання елементів, що дозволило скоротити час обробки даних при їх шифруванні та дешифруванні у порівнянні з відомою реалізацією. Програмна реалізація алгоритму AES, яка базувалась на офіційній специфікації стандарту шифрування, була успішно модифікована для зменшення часу обробки даних з умовою збереження криптографічної стійкості шифру. Загальні принципи запропонованого методу полягають у перетворенні усіх двовимірних масивів на одномірні, додаванні допоміжних таблиць для операцій ShiftRows та MixColumns, об'єднанні операцій зі схожими принципами опрацювання елементів. Проведені дослідження ефективності запропонованого методу удосконалення алгоритму. Модифікована реалізація алгоритму AES демонструє значний відсоток по скороченню часу обробки до 50% при шифруванні та до 75% при дешифруванні даних у порівнянні з відомими результатами.

Література

1. FIPS PUB 197. Specification for the Advanced Encryption Standard (AES), 2001.

2. Daoud L., Hussein F., Rafla N.. Optimization of Advanced Encryption Standard (AES) Using Vivado High Level Synthesis (HLS). *EPiC Series in Computing*. 2019. V.58, P.36-44.
3. Soltani A., Sharifian S.. An ultra-high throughput and fully pipelined implementation of AES algorithm on FPGA. *Microprocessors and Microsystems*. 2015. V.39, No.7, P.480-493.
4. Karthigaikumar P., Anitha Christy N., Siva Mangai N. M.. PSP CO2: an efficient hardware architecture for AES algorithm for high throughput. *Wireless Personal Communications*. 2015. V.85, No.1, P.305–323.
5. Taufik M., Amin D. E., Saifuddin M. A.. Hardware implementation and optimization of advanced encryption standard (AES) algorithm based on CCSDS. *AIP Conference Proceedings*. 2020. V.2226, P.060004
6. Liu Y., Xu X., Su H.. AES Algorithm Optimization and FPGA Implementation. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. V.267, No.4, P. 042070.
7. Pavithra.S., Vaishnavi.M., Vinothini.M., Umadevi.V.. Optimization of aes algorithm using hardware and software. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2015. V.6, No.4, P.965-971
8. Li M., Gan J., Cheng S., Hu X., Yu Y., Li J.. Design of Lightweight AES Algorithm Based on Masked Lookup Table. *IEEE 7th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*. 2019. P.437-441.
9. James M., Kumar D. S.. An Optimized Parallel Mixcolumn and Subbytes design in Lightweight Advanced Encryption Standard. *International Journal of Computational Engineering Research (IJCER)*. 2016. V.6, No.3, P. 25-28.
10. Горбенко І. Д., Тоцький О. С., Казьміна С. В. Перспективний блоковий шифр «Калина» – основні положення та специфікація // Прикладна радіоелектроніка. — Харківський національний університет радіоелектроніки, 2007.- т.6, №2. — 195-208 с.
11. Калинин Д.А., Козина Г.Л. Быстродействие шифров «Калина» и «AES». // Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2013, №1, с.62-65.
12. Y. Khatri, R. Chhabra, N. Gupta, A. Khanna and D. Gupta, "Secure modified aes algorithm for static and mobile networks", *International Conference on Innovative Computing and Communications*, pp. 389-399, 2020.
13. [Sadi Arman](#); [Tanjila Rehnuma](#); [Mahfuzur Rahman](#). Design and Implementation of a Modified AES Cryptography with Fast Key Generation Technique. [2020 IEEE International Women in Engineering \(WIE\) Conference on Electrical and Computer Engineering \(WIECON-ECE\)](#), 26-27 December 2020, p.191-195.
14. Stallings W.. Cryptography and network security: principles and practice; vol. 6. Pearson Education; 2017.
15. Rijndael MixColumns. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Rijndael_MixColumns
16. Riyaldhi R., Kurniawan A.. Improvement of advanced encryption standard algorithm with shift row and S. box modification mapping in mix column. *Procedia computer science*. 2017. V.116, P.401-407.

References

1. FIPS PUB 197. Specification for the Advanced Encryption Standard (AES), 2001.
2. Daoud L., Hussein F., Rafla N.. Optimization of Advanced Encryption Standard (AES) Using Vivado High Level Synthesis (HLS). *EPiC Series in Computing*. 2019. V.58, P.36-44.
3. Soltani A., Sharifian S.. An ultra-high throughput and fully pipelined implementation of AES algorithm on FPGA. *Microprocessors and Microsystems*. 2015. V.39, No.7, P.480-493.
4. Karthigaikumar P., Anitha Christy N., Siva Mangai N. M.. PSP CO2: an efficient hardware architecture for AES algorithm for high throughput. *Wireless Personal Communications*. 2015. V.85, No.1, P.305–323.
5. Taufik M., Amin D. E., Saifuddin M. A.. Hardware implementation and optimization of advanced encryption standard (AES) algorithm based on CCSDS. *AIP Conference Proceedings*. 2020. V.2226, P.060004
6. Liu Y., Xu X., Su H.. AES Algorithm Optimization and FPGA Implementation. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. V.267, No.4, P. 042070.
7. Pavithra.S., Vaishnavi.M., Vinothini.M., Umadevi.V.. Optimization of aes algorithm using hardware and software. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2015. V.6, No.4, P.965-971
8. Li M., Gan J., Cheng S., Hu X., Yu Y., Li J.. Design of Lightweight AES Algorithm Based on Masked Lookup Table. *IEEE 7th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*. 2019. P.437-441.
9. James M., Kumar D. S.. An Optimized Parallel Mixcolumn and Subbytes design in Lightweight Advanced Encryption Standard. *International Journal of Computational Engineering Research (IJCER)*. 2016. V.6, No.3, P. 25-28.
10. Gorbenko I. D., Totsky O. S., Kazmina S. V. Promising block cipher "Kalina" - the main provisions of the specification // Applied Radio Electronics. – Kharkiv National University of Radio Electronics, 2007.- т.6, №2. — 195-208 с.
11. Kalinin D.A., Kozina G.L. The speed of the Kalina and AES ciphers. // Radioelectronics, informatics, management, 2013, №1, p.62-65.
12. Y. Khatri, R. Chhabra, N. Gupta, A. Khanna and D. Gupta, "Secure modified aes algorithm for static and mobile networks", *International Conference on Innovative Computing and Communications*, pp. 389-399, 2020.
13. [Sadi Arman](#); [Tanjila Rehnuma](#); [Mahfuzur Rahman](#). Design and Implementation of a Modified AES Cryptography with Fast Key Generation Technique. [2020 IEEE International Women in Engineering \(WIE\) Conference on Electrical and Computer Engineering \(WIECON-ECE\)](#), 26-27 December 2020, p.191-195.
14. Stallings W.. Cryptography and network security: principles and practice; vol. 6. Pearson Education; 2017.
15. Rijndael MixColumns. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Rijndael_MixColumns
16. Riyaldhi R., Kurniawan A.. Improvement of advanced encryption standard algorithm with shift row and S. box modification mapping in mix column. *Procedia computer science*. 2017. V.116, P.401-407.

Рецензія/Peer review : 26.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

ПЕРЕПЕЛИЦЯ В.І.

Вінницький національний технічний університет

e-mail: pvi_92@ukr.net

КОЗЛОВ Л. Г.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-9652-1270>e-mail: osna2030@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗАГОТОВОК ЦЕГЛИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ МІНІМАЛЬНУ ПОХИБКУ ПЕРЕМІЩЕННЯ

В роботі наведено приклади сучасних механізмів, які у процесі своєї роботи потребують синхронного виконання двох або більше рухів. Розглянуто методи синхронізації декількох гідравлічних приводів в залежності від умов роботи таких механізмів. Відомі способи із застосування дросельного дільника потоку, дільника потоку з регульованим співвідношенням, двох незалежних контурів з об'єднанням їх за допомогою контролера нечіткої логіки та інші. Обґрунтовано актуальність оптимального підбору параметрів конструкції, які безпосередньо впливають на похибку синхронізації руху. Запропоновано варіант удосконалення різального автомату для формування заготовок цегли шляхом заміни механічної конструкції на гідравлічний привід, визначено його основні переваги. Представлено гідравлічну схему установки для формування заготовки цегли, та описано принцип дії даного пристрою. Розроблено математичну модель динаміки руху каретки установки для формування цегли, яка представлена системою нелінійних диференціальних рівнянь. Для розв'язання розробленої системи використано метод Розенброка. Наведено блок-схему розв'язання рівняння роботи гідроциліндра установки для формування заготовок цегли та проведено імітаційне дослідження динаміки руху каретки установки в середовищі MATLAB Simulink. В результаті проведеного дослідження було отримано залежності швидкості руху та переміщення каретки установки для формування заготовок цегли. Визначено залежності впливу найбільш вагомих параметрів на величину похибки переміщення каретки установки для формування заготовок цегли. Такими параметрами є: площа робочого вікна дроселя, площі допоміжного гідроциліндра та жорсткість пружини. Рекомендовано числові значення параметрів, при яких похибка переміщення каретки установки для формування цегли відносно глиняного бруса буде мінімальною.

Ключові слова: установка для формування заготовок цегли, математична модель, дросель, пружина, похибка переміщення, синхронізація руху.

Vyacheslav PEREPELITSYA, Leonid KOZLOV

Vinnytsia National Technical University

DETERMINATION OF INSTALLATION PARAMETERS FOR FORMATION OF BRICK PREPARATIONS THAT PROVIDE MINIMUM ERROR OF MOVING

The paper presents examples of modern mechanisms that in the process of their work require the simultaneous execution of two or more movements. Methods of synchronization of several hydraulic drives depending on the operating conditions of such mechanisms are considered. There are methods for using a throttle flow divider, a flow divider with an adjustable ratio, two independent circuits with their combination using a fuzzy logic controller, and others. The relevance of the optimal selection of design parameters that directly affect the error of motion synchronization is substantiated. A variant of improving the cutting machine for forming brick blanks by replacing the mechanical structure with a hydraulic drive is proposed, its main advantages are determined. The hydraulic scheme of the installation for forming a brick blank is presented, and the principle of operation of this device is described. A mathematical model of the dynamics of the carriage motion of an installation for brick formation has been developed, which is represented by a system of nonlinear differential equations. Rosenbrock's method was used to solve the developed system. The block diagram of solving the equation of operation of the hydraulic cylinder of the installation for the formation of brick blanks is presented and a simulation study of the dynamics of the carriage of the installation in the environment of MATLAB Simulink. As a result of the study, the dependences of the speed of movement and movement of the carriage of the installation for the formation of brick blanks were obtained. The dependences of the influence of the most important parameters on the value of the error of the carriage movement of the installation for the formation of brick blanks are determined. These parameters are: the area of the working window of the throttle, the area of the auxiliary hydraulic cylinder and the stiffness of the spring. Numerical values of parameters at which the error of movement of the carriage of the installation for formation of a brick concerning a clay bar will be minimum are recommended.

Keywords: installation for forming brick blanks, mathematical model, throttle, spring, displacement error, motion synchronization.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На сучасному етапі технологічного розвитку, значна частина промислових пристроїв взаємодіє з іншими установками або має декілька робочих органів, які потребують синхронності під час своєї роботи. Прикладами таких систем можуть бути струнні різальні автомати СМК-163 та РАШЛ-3 призначені для відрізання від суцільного глиняного бруса, що безперервно виходить з екструдера, заготовок цегли потрібного розміру [1, 2], конвеєрні механізми для переміщення заготовок та виробів [3], машини для безперервного лиття заготовок [4]. Для подібних механізмів завдання синхронізації двох і більше рухів може вирішуватись декількома способами, що залежать від умов роботи пристрою та поставлених цілей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемі синхронізації декількох рухів присвячена велика кількість зарубіжних і вітчизняних праць. Наприклад в роботі [5] розглядається вплив подачі робочої рідини на швидкість руху гідродвигунів в гідроприводах із застосуванням дросельного дільника потоку. В роботі [6] для керування рухом двох гідроциліндрів створений привід, який для контролю кожного гідроциліндра використовує незалежний контур управління з об'єднанням контролером нечіткої логіки в систему. В роботі [7] для забезпечення одночасного руху декількох гідравлічних приводів вирішується використанням дільника потоку робочої рідини. В роботі [8] запропоновано дільник потоку з регульованим співвідношенням, який розділяє один вхідний потік на два вихідних потоки у заздалегідь визначеному співвідношенні, незалежно від тиску навантаження чи загального потоку. В роботі [9] стійкість роботи та динамічні характеристики клапана дільника потоку забезпечуються на основі математичного моделювання. Результати моделювання показують залежності похибки поділу потоку від досліджуваних параметрів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття

Незважаючи на велику кількість досліджень, в практиці проектування існують завдання коли зовнішні впливи, що діють на систему, дано у досить вузьких діапазонах. У таких випадках система синхронізації може бути спрощена використанням регульованого дроселя встановленого в лінії подачі рідини кожного силового циліндра. Крім того, буде доцільно сформулювати завдання оптимального підбору характеристик таких дроселів та інших параметрів конструкції, що безпосередньо впливають на точність синхронізації робочих рухів [10].

Формування цілей статті

Метою статті є виявлення параметрів, які мають найбільш вагомий вплив на динаміку руху каретки установки для формування заготовок цегли. А також, визначення числових значень виявлених параметрів, при яких похибка переміщення каретки відносно глиняного бруса буде мінімальною.

Вихідні передумови

Удосконалення струнних різальних автоматів розглянутих у роботах (1, 2) представлено на рис. 1. Установка для формування заготовок цегли побудована на гідравлічному приводі, що у порівнянні з механічними конструкціями струнних різальних автоматів (1, 2) має суттєві переваги. А саме: невеликі габарити та малу кількість вузлів, низькі енерговитрати, високу надійність та продуктивність.

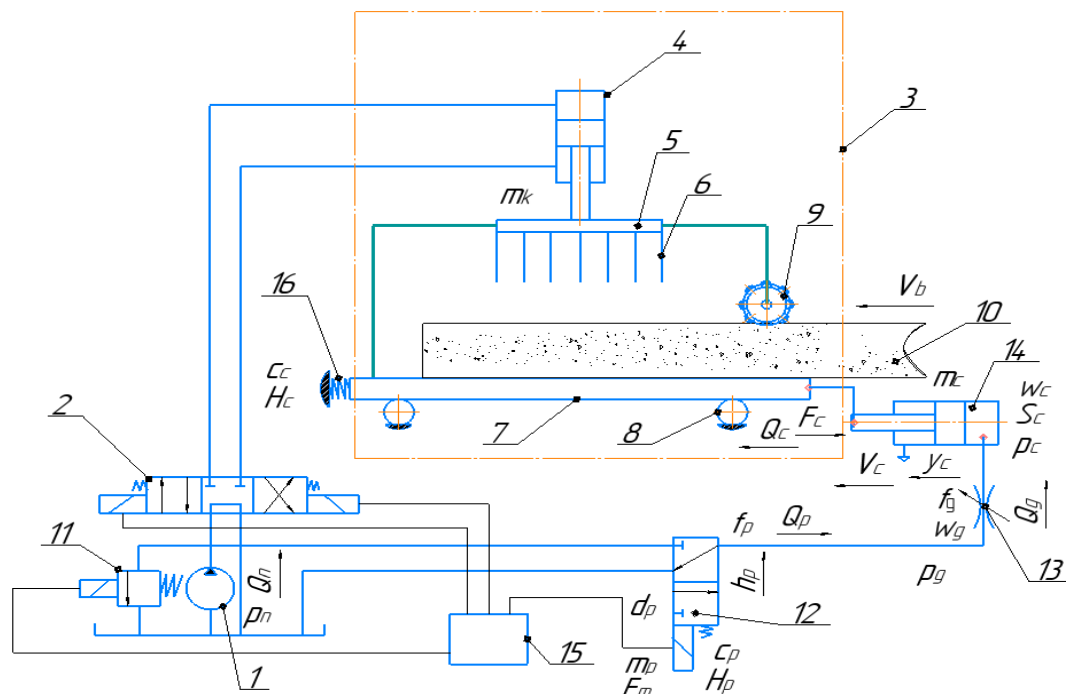


Рис. 1. Гідравлічна схема установки для формування заготовки цегли

Установка для формування заготовок цегли складається з таких елементів: 1 – шестеренний насос; 2 – 3-х позиційний 4-х лінійний розподільник з електромагнітним керуванням; 3 – каретка; 4 – гідроциліндр різання; 5 – траверса; 6 – різальні струни; 7 – рухомий стіл; 8 – опори кочення; 9 – датчик руху; 10 – глиняний брус; 11 – запобіжно-переливний клапан; 12 – 2-х позиційний 3-х лінійний розподільник з електромагнітним керуванням; 13 – регульований дросель; 14 – гідроциліндр подачі; 15 – блок керування, 16 – пружина.

Установка працює наступним чином. Глиняний брус 10, що видавлюється із екструдера, рухається по рухомому столу 7. Датчик 9 відраховує розмір n -ої кількості заготовок цегли (в залежності від кількості ріжучих органів 6) і подає електричний сигнал на блок керування 15. Останній формує сигнали керування на запобіжно-переливний клапан 11 та розподільники 2 і 12. Клапан 11 переходить в робочий режим – коли підвищується тиск в гідросистемі. Після чого, витрата робочої рідини від насосної станції направляється через розподільник 2 на гідроциліндр різання 4, та через розподільник 12 на гідроциліндр подачі 14. Гідроциліндр різання 4 приводить в рух траверсу 5 з різальними струнами 6, для розрізання глиняного бруса на заготовки цегли. Гідроциліндр подачі 14 одночасно з цим забезпечує синхронізацію каретки 3, яка розташований на опорах кочення 8, з рухом глиняного бруса 10. Після закінчення циклу різання, пружина 16 повертає гідроциліндр подачі 14 у вихідне положення.

Виклад основного матеріалу

Динаміка руху каретки установки для формування заготовок цегли представляє собою системою диференціальних рівнянь (1.1-1.4). Ця система містить рівняння, які описують роботу гідравлічного розподільника 12 (1.1), регульованого дроселя 13 (1.2), гідроциліндра подачі 14 (1.3) та пружини 16 (1.4).

$$m_p \frac{d^2 h}{dt^2} = F_m - c_p (H_p + h_p) - b_p \frac{dh_p}{dt}; \quad (1.1)$$

$$\mu \pi d_p h_p \sqrt{\frac{2|p_n - p_d|}{\rho}} \text{sign}(p_n - p_d) = \mu f_d \sqrt{\frac{2|p_d - p_c|}{\rho}} \text{sign}(p_d - p_c) + \beta w_d \frac{dp_d}{dt}; \quad (1.2)$$

$$\mu f_d \sqrt{\frac{2|p_d - p_c|}{\rho}} \text{sign}(p_d - p_c) = S_c \frac{dy_c}{dt} + \beta w_c \frac{dp_c}{dt}; \quad (1.3)$$

$$p_c S_c = c_c (H_c + y_c) + b_c \frac{dy_c}{dt} + (m_c + m_k) \frac{d^2 y_c}{dt^2}. \quad (1.4)$$

де m_p – маса золотника розподільника 12; F_m – зусилля електромагніта розподільника 12; h_p – хід золотника розподільника 12; b_p – коефіцієнт в'язкого тертя розподільника; c_p – жорсткість пружини розподільника; H_p – попереднє стиснення пружини розподільника 12; μ – коефіцієнт витрат; d_p – діаметр перерізу розподільника 12; p_n – номінальний (вхідний) тиск; p_d – тиск на вході дроселя; ρ – густина робочої рідини; f_d – площа робочого вікна дроселя; p_c – тиск на гідроциліндрі; β – коефіцієнт податливості робочої рідини; w_d – об'єм гнучкого рукава; y_c – хід гідроциліндра подачі; S_c – площа гідроциліндра подачі; w_c – об'єм камери гідроциліндра подачі; H_c – попереднє стиснення пружини; c_c – жорсткість пружини; m_c – маса гідроциліндра подачі; m_k – маса каретки; b_c – коефіцієнт в'язкого тертя гідроциліндра подачі.

Дослідження моделі виконувалось в середовищі MATLAB Simulink. Так як, розроблена система нелінійних диференціальних рівнянь є жорсткою – для її вирішення було використано метод Розенброка. Блок-схема розв'язання рівняння роботи гідроциліндра подачі показано на рис. 2.

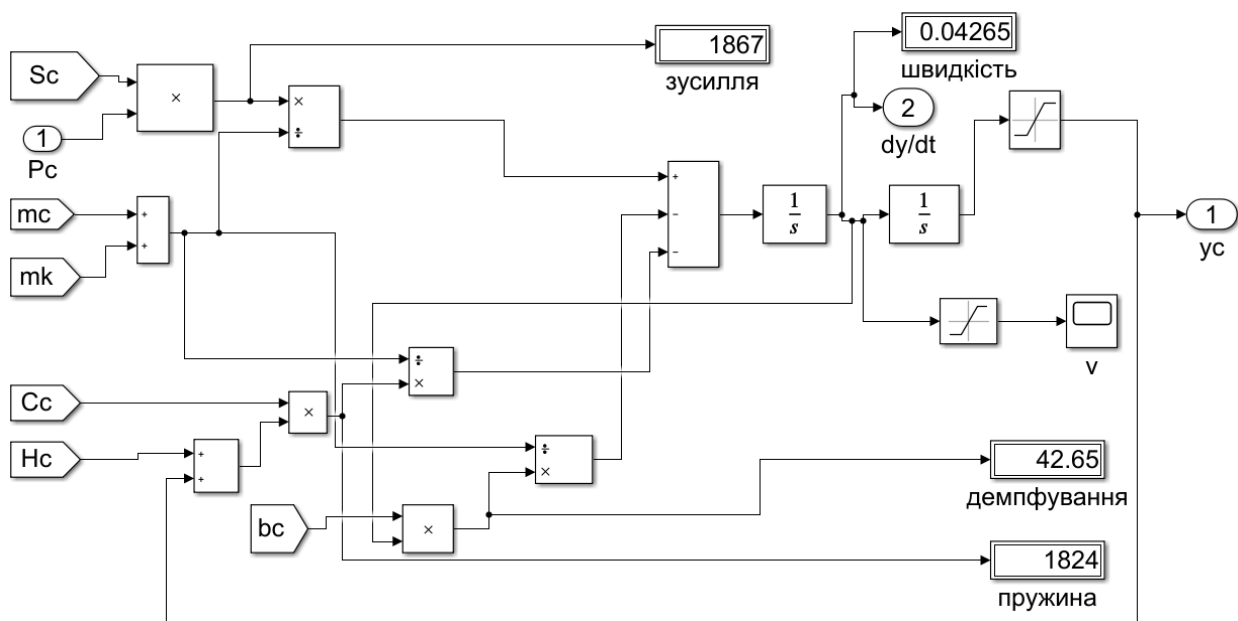


Рис. 2. Блок-схема розв'язання рівняння роботи гідроциліндра подачі

Для дослідження динаміки руху каретки було складено математичну модель при наступних припущеннях та вимогах: максимально допустимий час на рух каретки не повинен перевищувати 1 секунду; швидкість подачі глиняного бруса приймається за постійну величину; різання бруса починається в момент

часу $t_0=0,1$ с.; температуру та в'язкість робочої рідини приймаємо як постійну величину; тиск рідини в зливних гідролініях – постійна величина; втрати тиску в гідролініях не враховувалися; дію тиску зливу не враховуємо; дію сили тертя не враховуємо, перетікання робочої рідини в щілинах насоса та гідроциліндра не враховувалися.

При розв'язанні системи диференціальних рівнянь відносно швидкості подачі глиняного бруса, було отримано залежності швидкості та часу руху каретки від зміни параметрів установки. Розглянуто вплив наступних параметрів: площа робочого вікна дроселя f_d (рис. 3), площі гідроциліндра подачі S_c (рис. 4) та жорсткості пружини c_c (рис. 5).

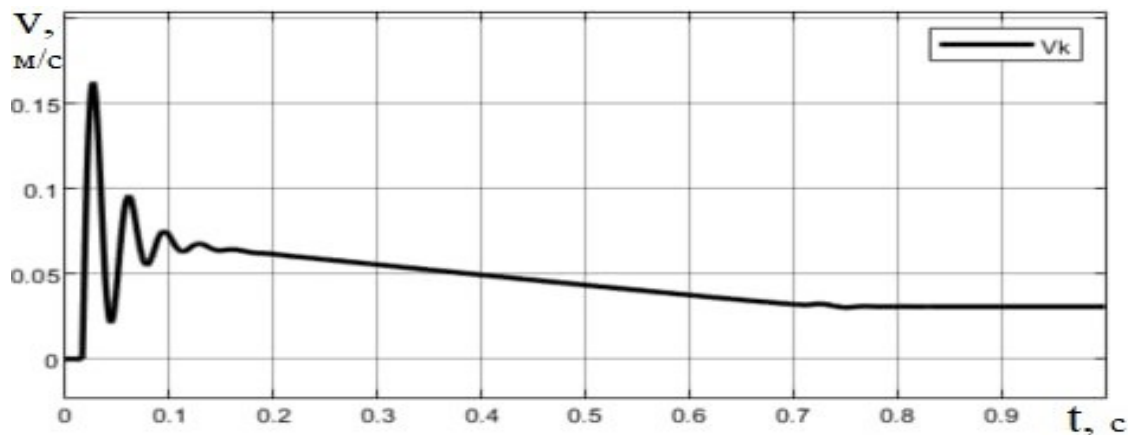


Рис. 3. Залежність швидкості від часу переміщення каретки при зміні площі дроселя f_d

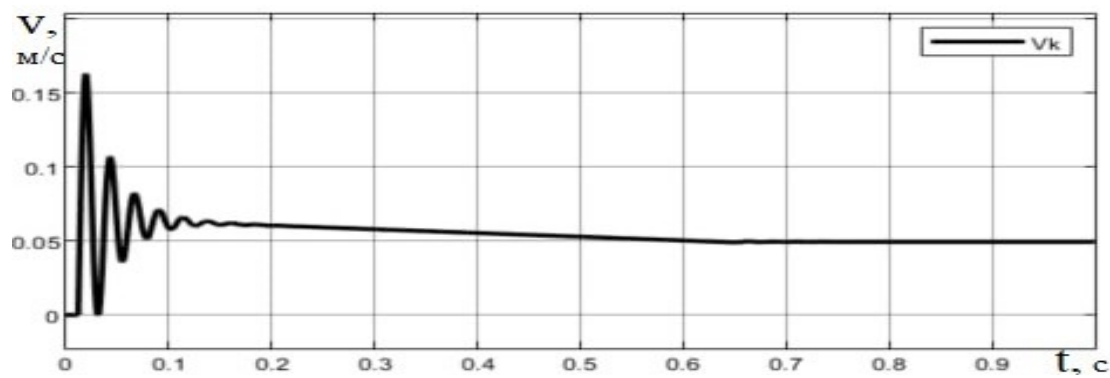


Рис. 4. Залежність швидкості від часу переміщення каретки при зміні площі гідроциліндра подачі S_c

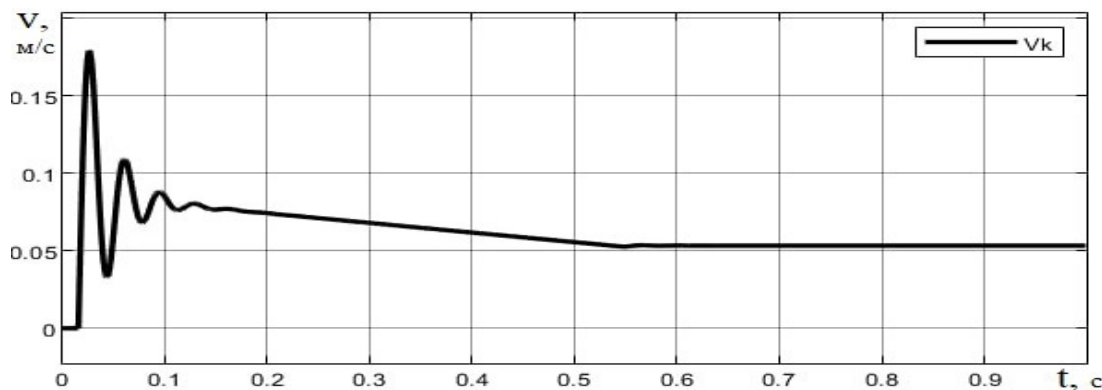


Рис. 5. Залежність швидкості від часу переміщення каретки при зміні жорсткості пружини c_c

Початкові значення змінних: $v_0=0$ м/с, $t_0=0,1$ с, $v_b=0,06$ м/с, $h_0=0$ м, $p_a(0)=0$ Па.

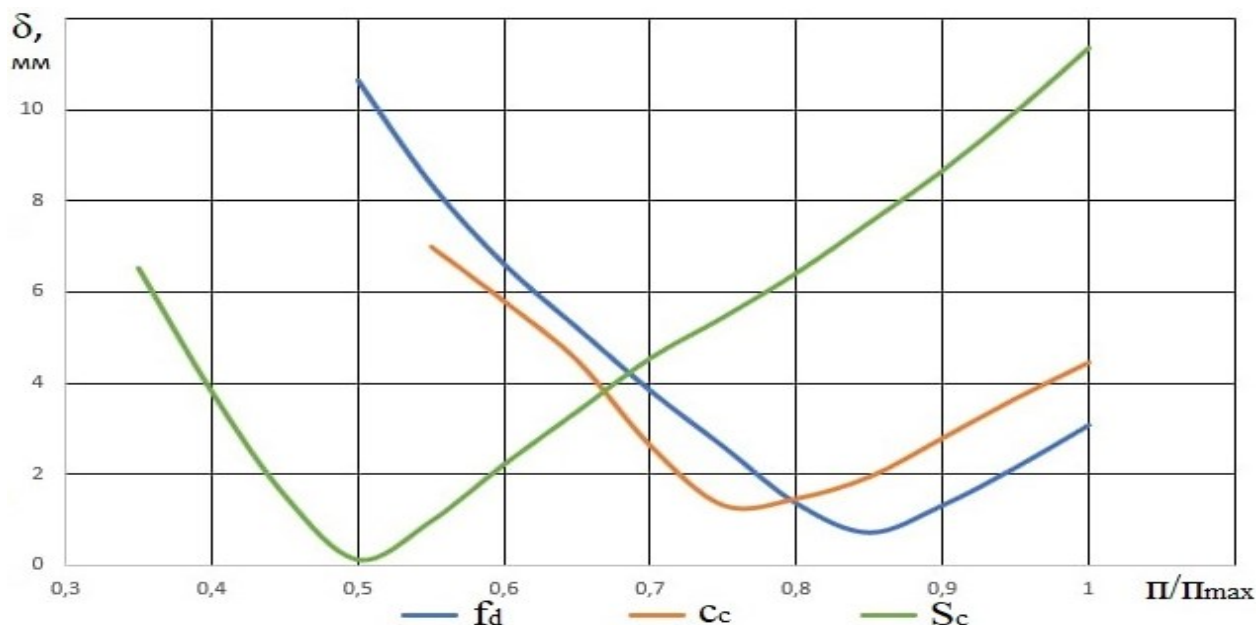
Показані залежності отримані при наступних величинах: $m_p=1,45 \cdot 10^{-3}$ кг; $h_p=3,5 \cdot 10^{-3}$ м; $c_p=240$ Н/м; $y_c=3,6 \cdot 10^{-2}$ м; $H_p=1,6 \cdot 10^{-2}$ м; $\beta=8 \cdot 10^{-9}$ Н·с/м; $F_m=50$ Н; $p_n=2,6$ МПа; $S_c=1,1 \cdot 10^{-3}$ м²; $w_c=1,8 \cdot 10^{-4}$ м³; $\mu=0,64$ м/с; $f_d=3,14 \cdot 10^{-6}$ м²; $\rho=900$ кг/м³; $w_d=9,45 \cdot 10^{-3}$ м³; $v_b=0,06$ м/с; $c_c=24 \cdot 10^3$ Н/м; $H_c=0,04$ м; $F_c=200$ Н; $d_p=7,8 \cdot 10^{-3}$ м; $m_c=6$ кг; $m_k=32$ кг; $b_c=1 \cdot 10^3$ Н·с/м²; $b_p=10$ Н·с/м².

Залежності похибки переміщення каретки (δ) від зміни параметрів установки для формування цегли показано на рис. 7. По осі абсцис відкладено значення безрозмірних параметрів Π/Π_{\max} , де Π – дійсні поточні значення параметрів, а Π_{\max} – максимальні значення параметрів [11]. Діапазон зміни Π і Π_{\max} наведено в таб. 1.

Таблиця 1

Діапазон зміни розглянутих параметрів

Параметри установки	Одиниці вимірювання	Значення (діапазон зміни параметрів)
f_d (площа дроселя)	m^2	$(2...4) \cdot 10^{-6}$
S_c (площа гідроциліндра подачі)	m^2	$(1...3,1) \cdot 10^{-3}$
c_c (жорсткість пружини)	Н/м	$(1,5...3) \cdot 10^4$

Рис. 7. Залежність похибки переміщення каретки δ від зміни площі дроселя f_d , площі гідроциліндра подачі S_c та жорсткості пружини c_c

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В процесі дослідження виявлено, що найбільш вагомими параметрами, які впливають на динаміку руху каретки установки для формування заготовок цегли є:

- площа робочого вікна дроселя f_d ,
- площа гідроциліндра подачі S_c ,
- жорсткість пружини c_c .

Рекомендовані значення параметрів, при яких похибка переміщення каретки відносно глиняного бруса буде мінімальною: $f_d=3,5 \cdot 10^{-6} m^2$, $c_c=2,2 \cdot 10^4$ Н/м, $S_c=1,6 \cdot 10^{-3} m^2$.

Література

1. Ильевич А. П., Машины и оборудование для заводов по производству керамики и огнеупоров, издание 2-е, переработанное, Москва "Высшая школа" 1979, 343 с.
2. Шлегель, И. Ф. Новый автомат для резания пластичного бруса / И. Ф. Шлегель, Г. Я. Шаевич, С. Г. Макаров, Н. И. Шкуркин // Строительные материалы. — 2011. — № 2. — С. 16, 17.
3. Попов Д.Н. Механика гидро- и пневмоприводов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.
4. Усовершенствование технологии и оборудования машин непрерывного литья заготовок / [М. Бровман, И. Марченко, Ю. Кан, В. Иванов]. — К. : Техника, 1976. — 165 с.
5. Al-Baldawi, R. A., Faraj, Y. A. (2014). Theoretical and Experimental Study of Hydraulic Actuators Synchronization by Using Flow Divider Valve. Journal of Engineering and Development, 18 (5), 282–293.
6. Kassem, S., El-Din, T. S., Helduser, S. (2012). Motion Synchronization Enhancement of Hydraulic Servo Cylinders for Mould Oscillation. International Journal of Fluid Power, 13 (1), 51–60. doi: <https://doi.org/10.1080/14399776.2012.10781046>
7. Стабилизаторы расхода для синхронизации перемещения исполнительных органов систем летательных аппаратов / Г.А. Копков, А.П. Кучин, А.Е. Новиков, М.Ю. Иванов, Г.Ф. Реш, Д.С. Антонов // Научно-технический юбилейный сборник АО «КБ химв автоматики». Воронеж. 2012. Т. 1. С. 219–223.
8. Travis K., "An Adjustable-Ratio Flow Dividing Hydraulic Valve", MSC. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, (2004)
9. Minter Ching, "Modeling and Analysis of A Flow Divider Valve" Proceedings of the ASME 2009 Fluids Engineering Division Summer Meeting, FEDSM 2009.
10. A Yu Bushuev et al, Minimization of a mismatch time of movement of actuators of a throttle synchronization system 2018 J. Phys.: Conf. Ser. 1141 012090

11. Козлов Л. Г. Дослідження характеристик мультирежимного клапана розподільника для гідроприводів мобільних робочих машин / Л. Г. Козлов, О. Л. Гайдамак, О. В. Петров. – Вінниця: Промислова гідравліка і пневматика, 2008. – №1. – с. 85 – 88.

References

1. Ylevych A. P., Mashyny y oborudovanye dlia zavodov po proyzvodstvu keramyky y ohneuporov, yzdanye 2-e, pererabotannoe, Moskva "Vysshaya shkola" 1979, 343 s.
2. Shlehel, Y. F. Novyi avtomat dlia rezaniya plastynohogo brusa / Y. F. Shlehel, H. Ya. Shaevych, S. H. Makarov, N. Y. Shkurkyn // Stroitelnye materialy. — 2011. — № 2. — S. 16, 17.
3. Popov D.N. Mekhanyka hydro- y pnevmopryvodov. M.: Yzd-vo MHTU ym. N.Э. Bauman, 2002. 320 s.
4. Usovershenstvovanye tekhnolohyy y oborudovaniya mashyn nepreryvnoho lytia zahotovok / [M. Brovman, Y. Marchenko, Yu. Kan, V. Yvanov]. — K. : Tekhnika, 1976. — 165 s.
5. Al-Baldawi, R. A., Faraj, Y. A. (2014). Theoretical and Experimental Study of Hydraulic Actuators Synchronization by Using Flow Divider Valve. Journal of Engineering and Development, 18 (5), 282–293.
6. Kassem, S., El-Din, T. S., Helduser, S. (2012). Motion Synchronization Enhancement of Hydraulic Servo Cylinders for Mould Oscillation. International Journal of Fluid Power, 13 (1), 51–60. doi: <https://doi.org/10.1080/14399776.2012.10781046>
7. Stabylyzatoryi raskhoda dlia synkhronyzatsyy peremeshcheniya uspolnytelnykh orhanov system letatelnykh apparatov / H.A. Kopkov, A.P. Kuchyn, A.E. Novykov, M.Iu. Yvanov, H.F. Resh, D.S. Antonov // Nauchno-tekhnicheskyy yubileyny sbornik AO «KB khymavtomatyky». Voronezh. 2012. T. 1. S. 219–223.
8. Travis K., "An Adjustable-Ratio Flow Dividing Hydraulic Valve", MSc. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, (2004)
9. Minter Ching, "Modeling and Analysis of A Flow Divider Valve" Proceedings of the ASME 2009 Fluids Engineering Division Summer Meeting, FEDSM 2009.
10. A Yu Bushuev et al, Minimization of a mismatch time of movement of actuators of a throttle synchronization system 2018 J. Phys.: Conf. Ser. 1141 012090
11. Kozlov L. H. Doslidzhennia kharakterystyk multyrezhyimnoho klapanu rozpodilnyka dlia hidropriyvodiv mobilnykh robochykh mashyn / L. H. Kozlov, O. L. Haidamak, O. V. Petrov. – Vinnytsia: Promyslova hidravlika i pnevmatyka, 2008. – №1. – s. 85 – 88.

Рецензія/Peer review : 19.07.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

БАБИЧ А. І.

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0001-5061-3292>e-mail: basienka@ukr.net

ЛИПСЬКИЙ Т. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-4166-6581>e-mail: Litini@bigmir.net

РАДІКОВА А. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

e-mail: radikova@ukr.net

СУЧАСНІ МЕТОДИ І СТАРОВИННІ ТЕХНОЛОГІЇ РЕСТАВРАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ВЗУТТЯ

В статті досліджено особливості етапів реставрації взуття.

Розроблено технологічні етапи реставрації взуття та поетапна технологія фінішного оздоблення готових виробів.

Проведено повний цикл реставраційних робіт на зразках чоловічого вживаного взуття.

Перевірено згідно вимог стандартів і доведено експериментальним шляхом високу зносостійкість поверхні матеріалів відреставрованого взуття, а саме: здатність матеріалу до багаторазового згину, розтягу, мокрого і сухого тертя.

Проведено дослідне носіння відреставрованих зразків взуття. Підтверджено високі експлуатаційні характеристики досліджуваних виробів. Доведено експериментальним шляхом доцільність даних робіт.

Ключові слова: реставрація, технологія, оздоблення, якість, зносостійкість, взуття.

Antonina BABYCH A., Tymofii LYPISKY, Anna RADIKOVA

Kyiv National University of Technology and Design

MODERN METHODS AND ANCIENT TECHNOLOGIES OF RESTORATION AND RESTORATION OF SHOES

Restoration and restoration of shoes - a delicate, complex, often jewelry. It requires professionalism, experience, creative and creative approach and innate artistic taste of the master. In addition, restoration work often requires special equipment and materials for a number of rare and complex operations to completely restore the product and give it its original appearance or, conversely, "aging" of new shoes at the request of the customer.

Shoe restoration allows a specialist to create using standard and non-standard materials, classic and advanced methods and techniques for replacing worn parts in the product, and also allows you to experiment with finishing compositions to give the product the appearance of "wear" and "abrasion", creating a "faded" "Color of the material and its" aged "structure, the effect of attrition or patina, metallic luster or vice versa giving the product a look of" rejuvenation "by updating the color, giving it strength, shine, overall finish and strengthening the structure of the material as a whole. Thanks to such methods of restoration it is possible to achieve not just the desired, but also almost unique result of work. The features of the stages of shoe restoration are investigated in the article.

Technological stages of restoration of footwear and step-by-step technology of finishing of finished products have been developed.

A full cycle of restoration works was carried out on samples of men's shoes worn.

Tested according to the requirements of the standards and experimentally proven high wear resistance of the surface of the materials of the restored shoes, namely: the ability of the material to repeated bending, stretching, wet and dry friction.

Experimental wearing of restored shoe samples was carried out. The high operational characteristics of the studied products have been confirmed. The expediency of these works has been proved experimentally.

Key words: restoration, technology, finishing, quality, wear resistance, footwear.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

З давніх часів виробництво індустрії моди (взуття і одягу) вироблялися вручну, в не великій кількості з шовку та парчі, натуральної шкіри та хутра, оздоблювалися вишивкою золотими та срібними нитками, коштовним камінням та мереживом, тому і коштували такі речі дорого [1].

Мати гардероб було привілеєм заможної частини населення та вояків. Кожна заможна людина мала помічника, який слідкував за гардеробом, а саме прав і прасував одяг, чистив черевики тощо. Тому гардероб слугував довгий час і був практично скарбом, який навіть передавався у спадок.

В сучасному емансипованому світі і динамічному ритмі функціонування міст, цю роботу виконують самі носії виробів або сервісні центри з обслуговування населення, а саме хімчистки і ремонтно-реставраційні майстерні [2, 3].

Як відомо, шкіряне чи текстильне взуття - не сама зносостійка річ [4]. Швидкість зносу може залежати як від міцності і якості матеріалу чи комплектуючих самого виробу, так і від особливостей ходи носія, але навіть самий бездоганний носій не може вберегти взуття від технічного зносу виробу і старіння матеріалу з якого він виготовлений, оскільки багато чинників впливають на це, а саме: погодні умови, температурний режим середовища, спосіб і термін носіння, умови догляду і зберігання виробу, якість матеріалу, комплектуючих, фурнітури тощо. Тому нерідко ми усі задаємо собі питання переглядаючи сезонно свій гардероб, а саме: реставрувати, оновити або викинути.

Здавалося б, навіщо в наш високотехнологічний час, коли можна купити взуття не дорого на будь-який смак, займатися його реставрацією чи сезонним оновленням. Виявляється причиною звернення до майстерні з ремонту, оновлення та реставрації взуття часто є зовсім не фінансова скрута споживача і не можливість купити нову пару. Це інше і особливе.

Проводячи час від часу опитування відвідувачів майстерень з реставрації та оновлення взуття було виявлено, що до взуття людина завжди звикає більше, ніж до предметів одягу, тому і ставиться до нього особливо [5-7]. Дуже рідко нове взуття відразу є зручним і комфортним. Зачасту доводиться звикати до нової пари взуття, розношувати, поки не відчуєш себе повністю комфортно ніби босоніж. Іноді проходить тривалий час поки взуття прийме форму стопи носія, а ноги звикнуть і перестануть втомлюватися від нових туфель, черевиків або чобіток. З приходом нового сезону, взуття вже є зручним і комфортним, підосва ще не зношена, каблук цілий і досить актуальний, але верх взуття вже «не першої свіжості», а саме: є замини, подряпини, збиті носки, втрачена частина строчки, тусклі колір, потемніла або втрачена фурнітура, чи то взагалі фасон став не модним. У цій ситуації реставрація поверхні заготовки виробу або оновлення конструкції взуття - є найраціональнішим виходом, особливо, якщо взуття дійсно ексклюзивне і дороге [8, 9].

Досить часто до майстрів з виготовлення та реставрації взуття звертаються клієнти, які мають чітке завдання і потребують для створення стильного образу театральної вистави чи кінофільму взуття, яке необхідно реставрувати або виготовити і штучно «зістарити», перетворивши сучасні туфлі або чобітки у взуття певної епохи.

Реставрація і відновлення взуття - справа тонка, складна, не рідко ювелірна. Вона вимагає професіоналізму, досвіду, творчого і креативного підходу і вродженого художнього смаку майстра. Крім того, реставраційні роботи часто потребують спеціального обладнання і матеріалів для ряду рідкісних і складних операцій задля повної реставрації виробу і надання йому первозданного вигляду або, навпаки, «зістарювання» нового взуття за бажанням замовника.

Аналіз досліджень та публікацій

Дослідженням проблем реставрації і оновлення взуття присвячені роботи вчених [5, 10, 11], серед яких Є. Левигурович, А. Бабич, Т. Липський, Н. та інші. Проте використання методів, методик, креативних технологій та обладнання по реставрації, ремонту та оновленню взуття на сьогодні потребує подальшого дослідження, зокрема щодо впровадження перспективних технологій, інструментів, фінішних композицій для виконання реставраційних робіт в індустрії моди, що обумовлює доцільність і актуальність дослідження.

Формулювання цілей статті

Реставрація чи оновлення взуття за індивідуальним замовленням дає можливість фахівцю творити використовуючи типові і не типові матеріали, класичні і удосконалені власноруч методи і методики щодо технології заміни зношених деталей у виробі, а також дозволяє експериментувати з фінішними композиціями для надання виробу вигляду «поношеності» та «подертості», створення «вицвілого» кольору матеріалу і «зістареної» його структури, ефекту потертості або патини, металічного блиску або навпаки надання виробу вигляду «омолодження» за допомогою оновлення кольору, надання йому міцності, блиску, загального оздоблення і зміцнення структури матеріалу в цілому. Завдяки таким прийомам реставрації можна досягати не просто бажаного, але й практично унікального результату роботи [5, 10, 11, 12].

Потрібно відмітити той факт, що реставрація та оновлення взуття, як власне і виготовлення взуття за індивідуальним замовленням стає дедалі популярнішим бізнесом у світі, про що свідчать щорічні аналітичні звіти з професійних виставок і показів моди [8, 9].

Реалізувати реставраційні роботи у взутті можливо при індивідуальному замовленні за рахунок застосування специфічних підходів до підготовчих операцій (очищення, прасування, сушка, жирування, вошіння тощо) та інноваційних авторських технологій розпису, напилення та фінішного оздоблення виробу.

Вказані композиції використовують не у промисловому масштабі, а для ремісництва та одиничної обробки виробів. Фінішні композиції для очищення, насичення, фарбування виробів зазвичай є закордонного виробництва (Італія, Туреччина тощо), стислий перелік властивостей яких надає виробник у технічній документації. Перелік включає вид матеріалу, який можна обробляти даним продуктом, хімічний склад, колір, глибину проникнення композиції в структуру матеріалу, специфічні властивості, що надає композиція матеріалу (наприклад, воскова поверхня, патина, павутинка часу - «зістарювання», водовідштовхувальний ефект тощо [13, 14]. Таким чином, основною метою даної роботи є виконання реставраційних та відновлювальних робіт на зразках сучасного взуття відомих брендів за рахунок застосування авторської технології підготовки і фінішного оздоблення готового виробу та підтвердження в подальшому експериментальним шляхом високої якості виконаних робіт і властивостей матеріалів.



Виклад основного матеріалу

В результаті аналізу сучасних тенденцій моди, думок професіоналів і споживачів щодо питань реставрації, отриманих в умовах міжнародної виставки «leather and shoes»-2022, м. Київ, за підтримки ТОВ «Litini», була реставрована серія зразків чоловічого взуття різних відомих брендів за удосконаленою авторами розробки технологією комплексу підготовчих операцій і фінішного оздоблення готових виробів

[11, 14]. Візуалізація послідовності виконання технологічних етапів реставраційних робіт зразків взуття представлена в табл. 1.

Таблиця 1

Візуалізація послідовності виконання технологічних етапів реставраційних робіт взуття

	а	б	в	г, д	е
Зразок №1					
Зразок №2					

Технологічний процес виконання реставраційних робіт взуття (за зразком), представлений в табл. 1 поділяється за п'ятьма етапами: а – початковий етап (не оброблений виріб); б – перший етап (знежирення взуття мильним розчином, промивання, сушка); в – другий етап (жирування, насичення структури матеріалу жируючими речовинами); г – третій етап (нанесення фінішу, пошарова сушка); д – четвертий етап (вошіння, полірування); е – п'ятий етап (готове взуття).

В результаті дослідження було відмічено, що після реставрації зразки взуття набули естетичної привабливості, сучасності і практичності. Дослідні зразки моделей взуття є трендовими, а оздоблення взуття (жируючими речовинами, фінішними композиціями та віском), можливість оновлення кольору або повної чи часткової його зміни є актуальним. Однак, якість виконання реставраційних чи оновлювальних робіт залежить від професіоналізму майстра. Тому необхідно більш глибоко займатися питанням удосконалення технологічних етапів виконання реставраційних, оновлювальних чи ремонтних робіт.

Для визначення експлуатаційних характеристик взуття і оцінки якості виконаних майстром робіт було відібрано 5 зразків реставрованого взуття. Згідно загальноприйнятої методики (за ДСТУ ISO 5404:2007 Шкіра. Фізико-механічні випробування) з двох зразків відреставрованого взуття було відібрано зразки-проби матеріалів, які піддавались експериментальним випробуванням на фізико – механічні властивості фінішного покриття, а інші три зразки відреставрованого взуття піддавались дослідному носінню (за методикою ДСТУ EN ISO 20344: 2009 Взуття. Метод випробування взуття на дослідне носіння.) для перевірки і підтвердження високих експлуатаційних властивостей готових виробів [15, 16]. Результати фізико-механічних випробувань представлено в таблиці 2. Результати дослідного носіння оцінювались методом експертних оцінок за шкалою від 1 до 5.

Таблиця 2

Основні фізико-механічні показники покриття зразків натуральної шкіри заготовки верху відреставрованого взуття (за методикою ДСТУ ISO 5404:2007 Шкіра. Фізико-механічні випробування)

Показник	Стандартизований показник за ДСТУ	Фінішна композиція за кольором		
		зелений (Kenda Farben Spa)	чорний (IEXI s.r.l)	коричневий (Biar)
1	2	3	4	5
Стійкість покриття до багаторазового вигину, вигини	50000	> 50000	> 50000	> 50000
Стійкість покриття до тертя, оберти:				
- сухого	200	> 500	> 500	> 500
- мокрого	100	> 500	200	160
Стійкість забарвлення до тертя, бали:				
- сухого	2 – 5	5	5	4
- мокрого	2 – 5	5	4	3
Стійкість забарвлення до дії органічного розчинника, бали	2 – 5	4	4	4

Отже, за результатами випробувань зрозуміло, що всі технологічні етапи реставраційних робіт є вдалим, покриття яким оздоблено зразки реставрованого взуття має високу якість. Згідно стандартів оздоблення вважається стійким до сухого тертя якщо зразок натуральної шкіри витримує 200 обертів без пошкодження покриття, до мокрого – 100 обертів. Запропоновані і використані в роботі миючі, жируючі, оздоблювальні речовини та фінішні композиції, воски надали поверхні і глибинним шарам матеріалу більшої стійкості ніж вимагає нормативна документація на шкіри для верху взуття. При визначенні стійкості покриття до багаторазового вигину умови стандарту відзначають кількість вигинів (циклів) до появи утворення тріщин, складок, осипання фарби та зміни кольору поверхні матеріалу в цілому. Всі зразки відреставрованого взуття витримали більше 50000 вигинів без втрати цілісності покриття. Розтріскування поверхні матеріалу та осипання фарби не виявлено, а це і є показником якості виробу і відмінним результатом дослідження. Слід відмітити і достатньо високі адгезійні властивості композицій до зразків випробуваного натурального шкіряного матеріалу реставрованого взуття.

Зважаючи на особливості догляду за взуттям, визначено також стійкість забарвлення поверхні оздобленої шкіри до тертя та дії органічних розчинників. Стійкість, оцінена в балах за шкалою сірих еталонів, є максимальною (5 балів) для сухого тертя у всіх зразків. Стійкість забарвлення до дії органічних розчинників у шкір для верху взуття рідко досягає високих показників. Більшість органічних розчинників розчиняють оздоблювальні матеріали, змиваючи їх з поверхні шкіри. Саме тому вказаний показник не нормується для взуттєвих шкір. Проведене дослідження виявило достатньо високу стійкість (4 бали) до дії чотирихлористого вуглецю випробуваних зразків. Результати дослідного носіння відреставрованих зразків чоловічих напівчеревиць показали позитивні результати.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Реставрація і оновлення взуття в умовах сьогодення є актуальним і пріоритетним напрямом розвитку виробництва, оскільки розширює можливості і зменшує витрати на матеріали, на придбання нових виробів і утилізацію старих. При цьому не погіршує естетичних, ергономічних, технологічних і гігієнічних характеристик виробу. Однак цей напрям не актуальний в промислових масштабах. Він є дієвим тільки при умові індивідуального замовлення.

Дотримання технологічних етапів реставраційних робіт та використання авторських методик нанесення фінішних композицій для оздоблення готового взуття з натуральної шкіри [] дає змогу отримати покриття високої якості. Ефективність підтверджується високою стійкістю отриманого покриття до механічного впливу, дії води та органічних розчинників.

Література

1. Історія взуття: від давнини до наших днів. – Режим доступу: <https://www.poznavayka.org/uk/nauka-i-svit/istoriya-vzuttya-vid-davnini-do-nashih-dniv/>
2. Івасенко М. В., Гврітішвілі А. В., Савіна М. І., Гаркава Т. С., Колле С. М. Адаптація fashion-індустрії до глобальних світових процесів. Науково-виробничий журнал «Індустрія моди. Fashion Industry». 2020, № 3. С.36-40.
3. Сайт державного комітету статистики України. — Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення 18.05.22)
4. Засоби індивідуального захисту. Взуття побутового призначення. Технічні умови (EN ISO 20345:2004/AC:2007/A1:2007, IDT) : ДСТУ EN ISO 20345:2009. – [Чинний від 2012-01-01] – К. : Держспоживстандарт України 2012.– 11 с. – (Національний стандарт України).
5. Бабич А. І., Мирошніченко І. М. Вплив факторів споживчого вибору на формування спектру послуг з ремонту взуття. Технології та дизайн. – 2018. – №3, 8с.
6. Павленко А. Ф., Войчак А. В. Маркетинг: Підручник. — К.: КНЕУ, 2013. -246с.
7. Грабовецький Б.Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання: Монографія. Вінниця: ВНТУ, 2010. – 171 с.
8. Левигурович Е.И. Ремонт и реставрация обуви. Учебник для проф. -техн. учеб. заведений и подготовки рабочих на производство. - М.: Высшая школа, 1969. - 224 с
9. Українські еко-бренди [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://shotam.info/top-10-ukrains-ki-eko-brendy-i-aki-pikluiut-sia-pro-dovkillia/>
10. Огляд ринку. Вітчизняне взуття. / Мій бізнес [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://msb.aval.ua/ru/news/?id=24843>
11. T. Lipskyi, N. Pervaia, O. Okhmat, O. Mokrousova, A. Babych. Assessment of performance using compositions in crust leather decoration. Eastern-European journal of enterprise technologies ISSN 1729-3774, Том 6, №1/6 (109) 2021, 57-63 (2021): DOI: 10.15587/1729-4061.2021.224226
12. Leshchyshyn, M.M., Garkavenko, S.S., Babich, A.I. ICAMS Proceedings of the International Conference on Advanced Materials and Systems, 2020, стр. 83–88 http://icams.ro/icamsresurse/2020/files/VOLUM_ICAMS_2020_FINAL.pdf
13. Хімія для фінішної обробки ” [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zotti.ua/paint.html>

14. Гаркавенко С.С., Бабич А.І., Охмат О.А., Липський Т.М. Дослідження показників якості композицій для оздоблювання шкіряного напівфабрикату Краст. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2020. № 5. С. 117 – 126.
15. DSTU ISO 5404:2007 Шкіра. Фізико-механічні випробування.
16. DSTU EN ISO 20344: 2009 Взуття. Метод випробування взуття на дослідне носіння.

References

1. Istoriia vzuttia: vid davnykh do nashykh dniv. – Rezhym dostupu: <https://www.poznavayka.org/uk/nauka-i-svit/istoriya-vzuttia-vid-davnini-do-nashih-dniv/>
2. Ivasenko M. V., Hvirishvili A. V., Savina M. I., Harkava T. S., Kollie S. M. Adaptatsiia fashion-industrii do hlobalnykh svitovykh protsesiv. Naukovo-vyrobnychiy zhurnal «Industriia mody. Fashion Industry». 2020, № 3. S.36-40.
3. Sait derzhavnoho komitetu statystyky Ukrainy. — Rezhym dostupu: <http://www.ukrstat.gov.ua> (data zvernennia 18.05.22)
4. Zasoby indyvidualnoho zakhystu. Vzuttia pobutovoho pryznachennia. Tekhnichni umovy (EN ISO 20345:2004/AS:2007/A1:2007, IDT) : DSTU EN ISO 20345:2009. – [Chynnyi vid 2012-01-01] – K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy2012.– 11 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
5. Babych A. I., Myroshnychenko I. M. Vplyv faktoriv spozhyvchoho vyboru na formuvannia spektru posluh z remontu vzuttia. Tekhnolohii ta dyzain. – 2018. – №3, 8s.
6. Pavlenko A. F., Voichak A. V. Marketynh: Pidruchnyk. — K.: KNEU, 2013. -246s.
7. Hrabovetskyi B.Ie. Metody ekspertnykh otsinok: teoriia, metodolohiia, napriamky vykorystannia: Monohrafiia. Vinnytsia: VNTU, 2010. – 171 s.
8. Levigurovich E.I. Remont i restavraciia obuvi. Uchebnik dlya prof. -tehn. ucheb. zavedenij i podgotovki rabochih na proizvodstvo. - M.: Vysshaya shkola, 1969. - 224 s
9. Ohliad rynku. Vitchyzniane vzuttia. / Mii biznes [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://msb.aval.ua/ru/news/?id=24843>
10. Ukrainski eko-brendy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu do resursu: <https://shotam.info/top-10-ukrains-ki-eko-brendy-iaki-pikluiut-sia-pro-dovkillia/>
11. T. Lipskyi, N. Pervaia, O. Okhmat, O. Mokrousova, A. Babych. Assessment of performance using compositions in crust leather decoration. Eastern-European journal of enterprise technologies ISSN 1729-3774, Tom 6, №1/6 (109) 2021, 57-63 (2021): DOI: 10.15587/1729-4061.2021.224226
12. Leshchyshyn, M.M., Garkavenko, S.S., Babich, A.I. ICAMS Proceedings of the International Conference on Advanced Materials and Systems, 2020, str. 83–88 http://icams.ro/icamsresurse/2020/files/VOLUM_ICAMS_2020_FINAL.pdf
13. Khimiia dlia finishnoi obrobky ” [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://zotti.ua/paint.html>
14. Harkavenko S.S., Babych A.I., Okhmat O.A., Lypskyi T.M. Doslidzhennia pokaznykiv yakosti kompozytsii dlia ozdoblivannia shkirianoho napivfabrykatu Krast. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. 2020. № 5. S. 117 – 126.
15. DSTU ISO 5404:2007 Shkira. Fyzyko-mekhanichni vyprobuvannia.
16. DSTU EN ISO 20344: 2009 Vzuttia. Metod vyprobuvannia vzuttia na doslidne nosinnia.

Рецензія/Peer review : 23.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

РИБАК О. В.

Національний університет "Одеська політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-0250-3037>e-mail: olga.vol.rybak@gmail.com

РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РЕКОМЕНДОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГУ

У роботі проаналізовано складності, які виникають при виборі шліфувального круга для обробки різних типів матеріалів. Особливо виділено проблему шліфування поверхонь з гетерогенною структурою, таких як композиційні покриття на основі надтвердих сполук. Наведено результати обробки деталей з покриттям на основі карбіду титану шліфувальними кругами з різною твердістю. З метою запобігання утворенню дефектів і браку готових виробів створено програмний комплекс, покликаний вирішувати проблему вибору інструменту в автоматичному режимі. Для забезпечення функціонування зазначеної підсистеми сформовано бази даних, що містять інформацію про різні властивості шліфувальних кругів та матеріал оброблюваних поверхонь. Представлено інтерфейс створеного програмного модуля і алгоритм його роботи.

Ключові слова: шліфувальний круг, програмний комплекс, алгоритм, композиційні матеріали, база даних.

Olga RYBAK

Odesa Polytechnic National University

DEVELOPMENT OF SUBSYSTEM FOR DEFINING RECOMMENDED GRINDING WHEEL PARAMETERS

The article is devoted to issues of choosing a grinding wheel for processing various types of materials. Complications which arise when a tool does not meet the requirements of providing needed surface quality are analysed in this research. The problem of grinding surfaces with a heterogeneous structure is particularly highlighted paying special attention to composite coatings based on superhard compounds. Results of processing workpieces with titanium carbide-based coatings using grinding wheels with different hardness are presented. In order to prevent grinding defects generation and spoiling finished products, the special software subsystem is developed. It is designed to resolve the problem of tool selection automatically. This software is an advanced solution of the considered problem which is usually solved with the use of manuals and handbooks about different grinding wheel properties. As a part of the information system necessary databases are formed to enable software correct functioning. These databases contain information about different characteristics of grinding wheels and the surface material being processed such as kinds of abrasive, their hardness, thermal conductivity, mesh sizes, bonding as well as compound of the processed surface and its density, elasticity, crack resistance. Since required surface quality implies obtaining needed roughness, its value is also taken into account along with other properties. An interface of the developed program module is presented together with its operating algorithm. The suggested program is based on information, analysis, modelling, optimization modules and the module of monitoring grinding regime parameters. In the case that there is no data available for some kind of the surface material, a list of its structure categories can be additionally downloaded. This software allows to prevent from damaging workpieces in the process of their grinding. Therefore, the developed program provides recommendations about appropriate characteristics of the grinding wheel depending on the material of the processed surface and the conditions of the grinding operation.

Keywords: grinding wheel, software system, algorithm, composite materials, database.

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

Під час шліфування поверхні деталей кругом з недостатньою твердістю виникає ризик утворення налипів та виривів, а також шліфувальних тріщин та інших дефектів, що призводить до великої кількості бракованих виробів. Прийняття рішення щодо вибору шліфувального круга найчастіше покладається на особу, яка виконує обробку деталі. При обробці суцільних поверхонь з металів та сплавів проблема вибору шліфувального круга зазвичай зводиться до визначення необхідної твердості абразиву та його зернистості. Однак, ситуація змінюється у випадку шліфування поверхонь з гетерогенною структурою, таких як композиційні покриття на основі надтвердих сполук (TiC, HfC, TiN, ZrN, HfN, TiB₂ та ін.).

Покриття різного складу наносяться на поверхню деталей з метою покращення експлуатаційних властивостей робочих поверхонь, зокрема для збільшення зносостійкості. Наприклад, напилювання молибдену різко знижує коефіцієнт тертя, а відтак, і ступінь зношування готових виробів. Нікель наносять для захисту від корозії, мідь – для зменшення електричного опору і т. д. Серед сплавів часто використовують ніхром, який не лише захищає робочу поверхню деталі від корозії, але й слугує прошарком для збільшення міцності зчеплення покриття з основою.

Якщо твердість окремих фаз в структурі оброблюваного матеріалу перевищує твердість шліфувального круга, зрізання таких частинок стає практично неможливим. Це призводить до руйнування самого шліфувального круга, в ньому утворюються борозни, а тверда частинка нанесеного шару втискається в значно м'якшу основу і перекошується по ній, спричиняючи пластичну деформацію та налипання. Деформація, в свою чергу, зумовлює виникнення внутрішніх напружень, які, в залежності від умов шліфування, можуть призводити до розвитку тріщин в шарі покриття. На рис. 1 а) та б) наведено фотографії поверхні покриття на основі карбіду титану після обробки алмазним шліфувальним кругом та кругом з електрокорунду.

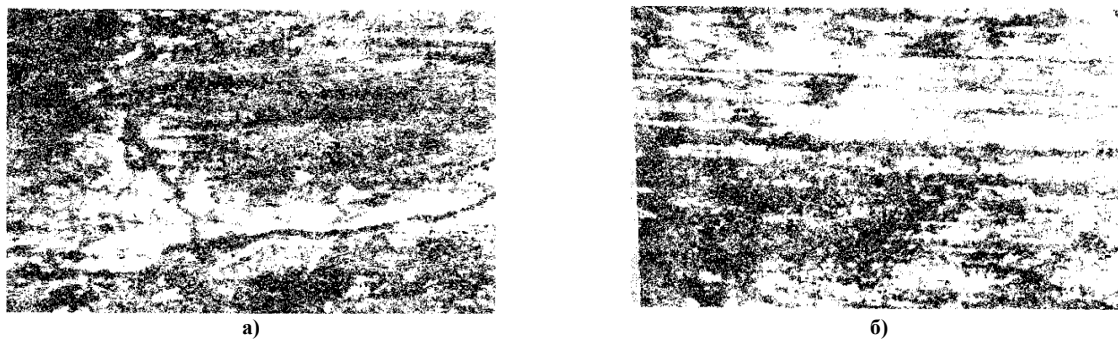


Рис. 1. Поверхня покриття на основі TiC:
а) – після шліфування кругом з електрокорунду;
б) – після шліфування алмазним кругом

Твердість TiC дорівнює 29 ГПа, що майже в 1,5 рази перевищує твердість електрокорунду. Враховуючи той факт, що кількість карбіду титану в композиційному покритті становить близько 40%, процес обробки відбувається з великими втратами енергії на пластичну деформацію, інтенсивним виділенням тепла, зношуванням шліфувального круга та утворенням тріщин в нанесеному шарі (рис. 1 а). Для усунення подібних негативних явищ абразивний матеріал круга необхідно обирати таким чином, щоб його твердість була більшою у порівнянні з надтвердою фазою. На рис. 1 (б) представлено вигляд поверхні покриття на основі TiC після його обробки алмазним кругом. У цьому випадку спостерігається відсутність шліфувальних тріщин.

Твердість абразивного матеріалу є основною, але не єдиною важливою властивістю шліфувального круга, що визначає характер його взаємодії з матеріалом покриття. Разом з твердістю абразиву слід також враховувати твердість шліфувального круга, яка залежить від здатності зв'язки утримувати ріжучі зерна від виривання при взаємодії з оброблюваною поверхнею. Таким чином, правильний вибір шліфувального круга повинен ґрунтуватися на якості зв'язки, фізичних властивостях та формі абразивних зерен, технології виготовлення тощо.

Аналіз останніх джерел

В інформаційно-довідниковій літературі [1, 2], присвяченій питанням абразивної обробки поверхонь, містяться відомості про режими шліфування, ріжучий інструмент, сучасні верстати та маркування кругів. Предбачено, що вибір круга та параметрів процесу шліфування у кожному конкретному випадку технолог здійснюватиме на основі представлених даних та власного досвіду.

Математичне моделювання процесу шліфування наведено у ґрунтовній роботі [3], де зокрема викладені рекомендації щодо підвищення продуктивності обробки та методики розрахунку геометричних показників шліфувальних кругів.

У роботах [4, 5] розглянуті питання практичного забезпечення необхідної якості обробленої поверхні та ефективності процесу шліфування на основі розрахунків, а також теоретичних закономірностей впливу технологічних умов на результати обробки.

Критичні значення показника жорсткості шліфувальних кругів як однієї з важливих експлуатаційних властивостей процесу обробки представлені у роботі [6]. Окрім експериментальних даних, автором наведено формулу для розрахунку осьової жорсткості шліфувального круга.

Особливості різних матеріалів, які суттєво впливають на процес їхньої подальшої обробки шліфуванням, проаналізовано у роботах [7, 8]. Серед іншого, детально описані характеристики чистих металів та їхніх сплавів, композиційних матеріалів, різних видів кераміки тощо.

Робота [9] присвячена питанню визначення оптимальних параметрів шліфування за допомогою еволюційних методів та побудові алгоритму для аналітичного вирішення цієї задачі. Оскільки оптимізація процесу шліфування неможлива без правильного вибору шліфувального круга та запобіганню виникнення дефектів обробки і браку готових виробів, постає задача створення програмного комплексу, покликаного вирішувати представлену проблему в автоматичному режимі.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: розробка програмного модуля, призначеного для вироблення рекомендацій щодо основних характеристик шліфувального круга з огляду на матеріал оброблюваної поверхні та умови шліфування.

Виклад основного матеріалу

Програмний модуль вироблення рекомендацій для вибору шліфувального круга має функціонувати на основі відомостей про абразивний матеріал, твердість, зернистість, структуру та зв'язку шліфувального круга, а також властивостей матеріалу поверхні, які поділяються на категорії в залежності від вмісту надтвердих сполук. Зазначена інформація міститься у взаємопов'язаних базах даних, включених до складу інформаційної системи, покладеної в основу програмного комплексу. Схема таблиць та зв'язків між ними у відповідних базах даних представлена на рис. 2 і 3.

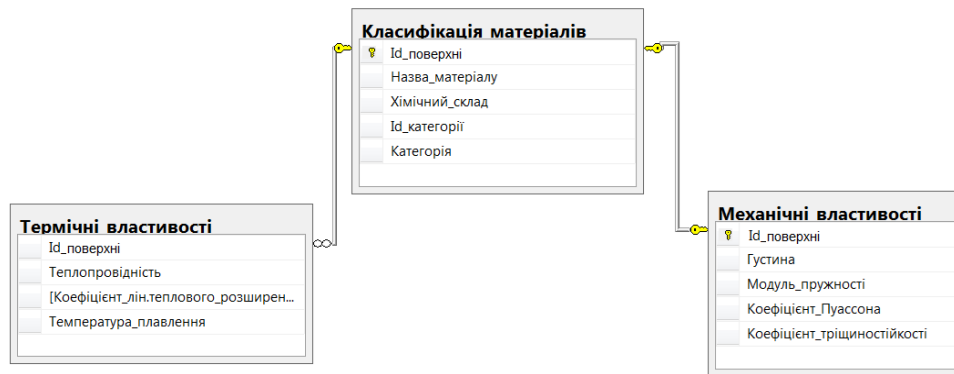


Рис. 2. Схема бази даних «Матеріали поверхонь»

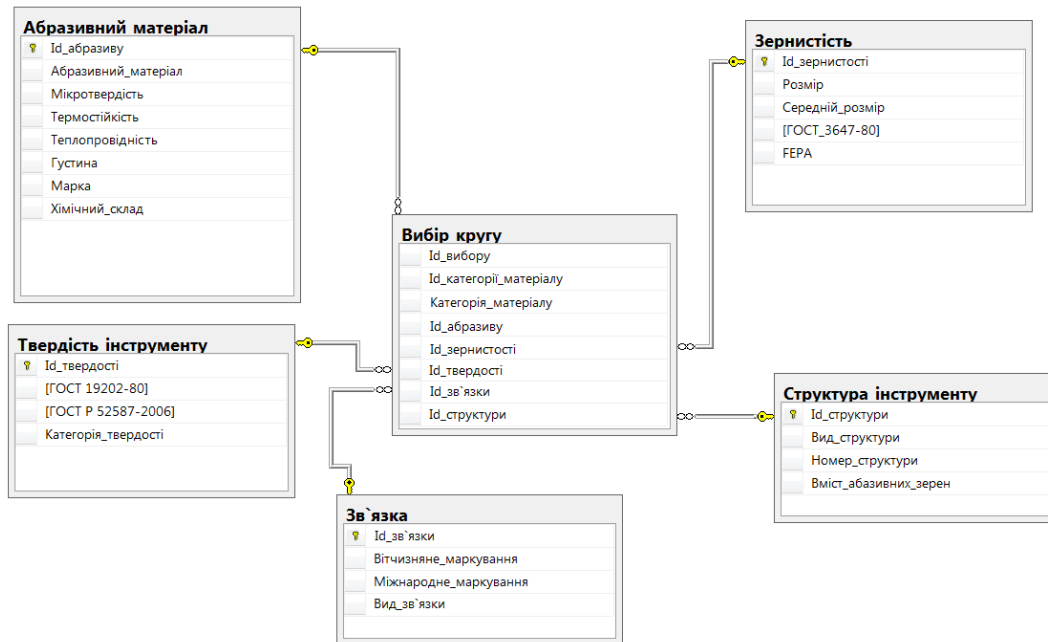


Рис. 3. Схема бази даних «Вибір шліфувального круга»

...

Алгоритм роботи підсистеми вибору характеристик шліфувального круга зображений на рис. 4.

Інтерфейс підсистеми визначення рекомендованих характеристик шліфувального круга представлений на рис. 5 та 6. Вибір матеріалу оброблюваної поверхні здійснюється за допомогою випадючого списку значень, що містяться у базі даних (рис. 5). Якщо інформація про певний вид матеріалу відсутня, при виборі позиції "інше" в списку матеріалів шляхом AJAX-запиту завантажується додатковий список основних категорій матеріалів оброблюваної поверхні (рис. 6):

```
ajaxController({
    callback: function (data) {
        for (var index in data.output) {
            $('#materials').append('<option
value="${data.output[index].id_select}"
>${data.output[index].material_category}<\option>');
        }
    }
});
```

Таким чином, користувач має можливість продовжити пошук рекомендованих параметрів навіть у тому випадку, коли конкретний вид матеріалу поверхні відсутній.



Рис. 4. Алгоритм підсистеми вибору рекомендованих характеристик шліфувального кругу

Вибір шліфувального кругу

Оберіть спосіб шліфування:

Оберіть вид поверхні:

Оброблюваний матеріал:
 20X13H4Г9
 12X18H9
 08X18H10
 20X23H13
 12X18H9T
 інше

Введіть значення шорсткості:

Рис. 5. Інтерфейс підсистеми визначення рекомендованих характеристик шліфувального кругу

Вибір шліфувального кругу

Оберіть спосіб шліфування:

Оберіть вид поверхні:

Оброблюваний матеріал:

Оберіть категорію матеріалу:

Введіть значення шорсткості, мкм:

Рис. 6. Активація додаткового списку категорій матеріалів

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проаналізовано негативні наслідки, до яких призводить обробка поверхонь шліфувальним кругом з недостатньою твердістю. Для вирішення проблеми правильного вибору інструменту створено програмний модуль вироблення рекомендацій щодо параметрів шліфувального круга в залежності від виду матеріалу оброблюваної поверхні. Представлено алгоритм роботи програми та інтерфейс визначення характеристик процесу шліфування. Доцільність розробки підсистеми вибору рекомендованих параметрів шліфувального круга зумовлена необхідністю запобігання утворенню дефектів та браку готових виробів при обробці деталей кругом з невідповідними властивостями.

Література

1. Боровский Г.В. Справочник инструментальщика / Г.В. Боровский, С.Н. Григорьев, А.Р. Маслов. – М.: Машиностроение, 2005. – 464 с.
2. Новиков Н.В. Инструменты из сверхтвердых материалов : справочник / Г.П. Богатырева [и др.] ; под ред. Н.В. Новикова. – М. : Машиностроение, 2005. – 555 с.
3. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.
4. Шахбазов Я.О. Наукові і технологічні основи формування різального рельєфу шліфувальних кругів з метою підвищення ефективності обробки: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Харків, 2007. – 36 с.
5. Зубарев Ю.М. Теория и практика повышения эффективности шлифования материалов: Учебное пособие / Ю.М. Зубарев, А.В. Приемышев. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 304 с.
6. Лаврінченко В.І. Шліфувальні круги з надтвердих матеріалів у верстатній системі: обмеження за критерієм жорсткості / В.І. Лаврінченко // Сверхтвердые материалы. – 2009. – № 2. – С. 82–87.
7. Сінковський А.С. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: конспект лекцій / А.С. Сінковський. – Одеса: АО БАХВА, 2002. – 88 с.
8. Сінковський А.С. Матеріалознавство: курс лекцій / А.С. Сінковський. – Одеса: Наука и техника, 2009. – 172 с.
9. Рибак О.В. Застосування еволюційних методів оптимізації для вибору режимів шліфування / О.В. Рибак // Технічні науки та технології. – 2021. – № 4 (26). – С. 97-105.

References

1. Borovskij G.V. Spravochnik instrumentalshika / G.V. Borovskij, S.N. Grigorev, A.R. Maslov. – M.: Mashinostroenie, 2005. – 464 s.
2. Novikov N.V. Instrumenty iz sverhtverdyh materialov : spravochnik / G.P. Bogatyreva [i dr.] ; pod red. N.V. Novikova. – M. : Mashinostroenie, 2005. – 555 s.
3. Yakimov A.V. Optimizaciya processa shlifovaniya / A.V. Yakimov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 176 s.
4. Shakhbazov Y.O. Naukovi i tekhnolohichni osnovy formuvannia rizalnoho reliefu shlifovalnykh kruhiv z metoiu pidvyshchennia efektyvnosti obrobky: Avtoref. dys. d-ra tekhn. nauk. – Kharkiv, 2007. – 36 s.
5. Zubarev Y.M. Teoriya i praktika povysheniya effektivnosti shlifovaniya materialov: Uchebnoe posobie / Y.M. Zubarev, A.V. Priemyshev. – SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2010. – 304 s.
6. Lavrinenko V.I. Shlifovalni kruhy z nadtverdykh materialiv u verstatnii systemi: obmezhenia za kryteriiem zhorstkosti / V.I. Lavrinenko // Sverhtverdye materialy. – 2009. – № 2. – S. 82–87.
7. Sinkovskiy A.S. Tekhnolohiiia konstruktsiinykh materialiv i materialoznavstvo: konspekt lektzii / A.S. Sinkovskiy. – Odesa: AO BAHVA, 2002. – 88 s.
8. Sinkovskij A.S. Materialovedenie: kurs lekcij / A.S. Sinkovskij. – Odessa: Nauka i tehnika, 2009. – 172 s.
9. Rybak O.V. Zastosuvannia evoliutsiinykh metodiv optymizatsii dlia vyboru rezhymiv shlifuvannia / O.V. Rybak // Tekhnichni nauky ta tekhnolohii. – 2021. – № 4 (26). – S. 97-105.

Рецензія/Peer review : 15.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

РОБИТНИЦЬКИЙ Р. К., ОНУФРІЙЧУК Ю.М., ПУШКАР В.М.

Ліцей №1 с. Городківка Крижопільського району Вінницької області

СКЛАДАНЮК М.Б.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

<https://orcid.org/0000-0003-1908-3769>e-mail: skladanyuk16@gmail.com

СТЕХІОМЕТРИЧНІ ОБЧИСЛЕННЯ НА УРОКАХ ХІМІЇ

В роботі наведено результати досліджень розв'язування задач на надлишок стехіометричним способом обчислення, даний підхід є раціональним, простим і легко адаптованим до шкільної програми. Якщо учень вірно написав рівняння реакцій, склав алгоритм задач і одну задачу розв'язав повністю, то з високим ступенем достовірності можна твердити, що він вміє розв'язувати задачі пропонованих типів. Таким чином збільшується число проаналізованих задач, виникає можливість у старших класах зблизити у просторі і часі задачі різних типів, а зближення у просторі і часі дає можливість швидше помітити подібність і відмінність між різними типами задач. Процес навчання стає більш ефективним внаслідок постійного і більш інтенсивного використання таких розумових дій як порівняння, аналіз, синтез, класифікація, абстрагування. Обговорювана система примушує учня частіше звертатись до умови задачі і більш глибоко її осмислювати, за таблицею можна задати алгоритм розв'язування задачі або за відомим алгоритмом скласти умову задачі і користуючись даною таблицею, при належному розшифруванні команд (операторів) та переведенні алгоритмів на одну з машинних мов, можна скласти програму для програмованого мікрокалькулятора або комп'ютера.

Ключові слова: хімічний символ, речовини, частка, надлишок, стехіометричні обчислення.

Rostislav ROBITNYTSKYI, Yuri ONUFRIYCHUK, Valentina PUSHKAR

Lyceum No. 1, p. Horodkivka of the Kryzhopol district of the Vinnytsia region

Mariia SKLADANIUK

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

STOICHIOMETRIC CALCULATIONS IN CHEMISTRY CLASSES

This paper presents the results of research on solving excess problems by the stoichiometric method of calculation, this approach is rational, simple, and easily adapted to the school program. If a student correctly wrote the equation of reactions, compiled an algorithm of tasks, and solved one task completely, then with a high degree of certainty it can be stated that he/she is able to solve the tasks of the suggested types. Thus, the number of analyzed problems increases and an opportunity arises in the high grades to converge in space and time problems of different types, and convergence in space and time makes it possible to notice the similarity and difference between different types of problems faster. The learning process becomes more effective as a result of constant and more intensive use of such mental actions as comparison, analysis, synthesis, classification, and abstraction. The system under discussion forces the student to refer more often to the condition of the problem and to comprehend it more deeply, using the table one can set the algorithm of solving a problem or on the known algorithm to make the condition of the problem and using this table with proper decoding of commands (operators) and translation of algorithms into one of the machine languages, one can make a program for programmable microcalculator or computer.

Keywords: chemical symbol, substances, particle, excess, stoichiometric calculations

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Формування навичок у застосуванні знань з хімії неможливе без розв'язування розрахункових задач. А тому погляди методистів і педагогів – практиків направлені на пошук шляхів оптимізації цього процесу. Одним з цих шляхів є алгоритмізація розв'язування задач.

Зазвичай автори пропонують алгоритм до задач кожного типу окремо у вигляді лінійної схеми. Такий підхід на початковому етапі навчання слід визнати доцільним, але після оволодіння певними навичками ці догматичні креслення аж ніяк не сприяють формуванню творчого мислення учнів.

Розрахунки за рівняннями хімічних реакцій поруч з певними відмінностями мають багато спільного. Отже можлива схема розгалужених алгоритмічних приписів, за якою учень самостійно обирає необхідну послідовність дій, що приводить до вірного розв'язку, і фіксує її в умовній формі, не розв'язуючи самої задачі.

Аналіз досліджень та публікацій

В даній роботі запропонована методика складання алгоритмів і програм для найпростішої обчислювальної техніки послідовна і доступна для учнів; вона оптимально поєднує різні форми розумових дій з відсутністю шаблону в роботі.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: можливість будувати алгоритм будь-яких обчислень за рівняннями хімічних реакцій і розв'язування за ними відповідні задачі.

Виклад основного матеріалу

При вивченні символів хімічних елементів звертається увага на правильну інтерпретацію хімічного символу. Наприклад, S – це один атом хімічного елементу Сульфуру з відносною атомною масою 32 а.о.м.

Атомна одиниця маси – це $\frac{1}{12}$ частина маси атому Карбону. Запис 5S означає п'ять атомів Сульфуру, а цифра 5 називається коефіцієнтом.

Число атомів хімічного елемента, що знаходяться в молекулі позначається у вигляді індексу – цифри, яка ставиться після символу елемента з правої сторони внизу. Наприклад, молекула сірководню H_2S складається з двох атомів Гідрогену і одного атому Сульфуру.

Речовини, які складаються з атомів одного хімічного елемента називаються простими. Наприклад, N_2 – азот, O_2 – кисень, O_3 – озон. Молекули складних речовин містять у своєму складі атоми різних хімічних елементів. Наприклад, H_2O – вода, CO_2 – вуглекислий газ, CH_4 – метан тощо. Про кожний хімічний елемент учні повинні знати: назву хімічного елемента, правильну вимову, назву простої речовини (або простих речовин).

Після ознайомлення з валентністю елементів, формули речовин краще складати за їх назвами. Наприклад, ферум (III) оксид Fe_2O_3 , сульфур (IV) оксид SO_2 , нітроген (I) оксид N_2O , алюміній хлорид $AlCl_3$.

Знаючи хімічну формулу речовини, можна розрахувати відносну молекулярну масу M_r за відносними атомними масами A_r елементів, що входять до складу речовини. За відносною молекулярною масою і відносними атомними масами елементів розраховуються масові частки кожного хімічного елемента. Наприклад,

$$M_r(Fe_2O_3) = A_r(Fe) + 3A_r(O) = 2 \cdot 56 + 3 \cdot 16 = 112 + 48 = 160 \text{ (а.о.м.)},$$

$$\omega(Fe) = \frac{112}{160} \cdot 100\% = 70\%,$$

$$\omega(O) = \frac{48}{160} \cdot 100\% = 30\%, \text{ або } 100\% - 70\% = 30\%.$$

Знаючи масові частки елементів у речовині, можна знайти формулу речовини.

Кількість речовини ν (ню) чи n (ен) ($6,02 \cdot 10^{23}$ структурних частинок) називається **моль**.

Хімічну формулу потрібно правильно розуміти. Так, наприклад, сульфур (VI) оксид – SO_3 . Тут написано 1 моль SO_3 тобто $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул SO_3 . 1 моль SO_3 містить 1 моль ($6,02 \cdot 10^{23}$ атомів) S та 3 моль атомів оксигену, тобто $3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}$ атомів O.

Під час хімічних реакцій речовини реагують між собою. Запис цього процесу за допомогою хімічних знаків та формул називається **хімічним рівнянням**.

Хімічне рівняння слід складати у такій послідовності:

а) пишемо схему реакції словами;

б) урівнюємо число атомів кожного елемента до і після реакції за допомогою коефіцієнтів (закон збереження маси речовин);

в) після формул в рівнянні реакції позначаємо фізичний стан речовин (тверде тіло, газ, рідина).

Розв'язування вправ на складання рівнянь реакції за наведеною вище схемою дають можливість не забути того, що вивчалось раніше.

Наведемо приклад.

Напишіть рівняння реакції за схемою:

купрум (II) оксид + хлоридна кислота \rightarrow купрум (II) хлорид + вода.

CuO (тверда речовина) + $2HCl$ (рідина) = $CuCl_2$ (в розчині) + H_2O (рідина).

Речовини реагують між собою в певних чітко визначених кількісних відношеннях. **Наука, що вивчає кількісні відношення між речовинами під час їх взаємодії називається стехіометрією.** Хімічні формули і рівняння пишуться на основі стехіометричних законів. **Рівняння реакцій написані таким чином називають стехіометричними рівняннями [1].**

За ними можна обчислювати стехіометричні кількості, маси, об'єми газів (при нормальних умовах) вихідних речовин і продуктів реакції.

Приклад

а) Напишіть рівняння реакції за схемою.

б) За допомогою обчислень доведіть справедливість закону збереження маси речовин.

Магній оксид + нітратна кислота = магній нітрат + вода

$MgO + 2HNO_3 = Mg(NO_3)_2 + H_2O$

$\nu = 1 \text{ моль} \quad \nu = 2 \text{ моль} \quad \nu = 1 \text{ моль} \quad \nu = 1 \text{ моль}$

$M = 40 \text{ г/моль} \quad M = 63 \text{ г/моль} \quad M = 148 \text{ г/моль} \quad M = 18 \text{ г/моль}$

$m = 40 \text{ г} \quad m = 126 \text{ г} \quad m = 148 \text{ г} \quad m = 18 \text{ г}$

До реакції

$40 + 126 = 166 \text{ (г)}$

Після реакції

$148 + 18 = 166 \text{ (г)}$

Записане вище можна розуміти так: 40 г магній оксиду повністю реагують з 126 г нітратної кислоти з утворенням 148 г магній нітрату і 18 г води.

Напишемо рівняння реакції між порошками заліза і сірки:

Fe (тверда речовина) + S (тверда речовина) = FeS (тверда речовина)

1 моль

1 моль

1 моль



Масове відношення між речовинами 7 : 4. Залізо і сірка повністю вступили в реакцію. А якщо взяти 10 г заліза, то скільки грам сірки (позначимо через x) потрібно взяти, щоб речовини повністю вступили в реакцію?

За попереднього висновку, масове співвідношення заліза і сірки складає 7 до 4, тому справедливою буде така пропорція $7 : 4 = 10 : x$.

$$\text{Звідси, } 7x = 10 \cdot 4, \quad x = \frac{10 \cdot 4}{7} \approx 5,7 \text{ (г)}.$$

Але пропорцію можна скласти і так: $10 : 7 = x : 4$.

$$\text{Тоді } x = \frac{10 \cdot 4}{7}; \quad 7x = 40; \quad x \approx 5,7 \text{ г}.$$

У кожному випадку присутній один і той самий множник $\frac{10}{7}$. В чисельнику вказана маса (кількість) взятого реагенту, у знаменнику – його стехіометрична маса. По аналогії з масовою часткою, обчисленою за формулою речовини, дану величину можна назвати **стехіометричною часткою**.

Ця безрозмірна величина показує яку частину становить реагент від стехіометричної маси речовини, що вступила в реакцію. Якщо стехіометричні частки реагуючих речовин рівні між собою, речовини повністю вступають в реакцію і утворюють рівні по величині стехіометричні частки продуктів реакції.

Стехіометричну частку речовини позначимо кирилицею як **стч**.

Таке позначення даної величини містить в собі підказку, а тому легко запам'ятовується учнями. Наприклад, стехіометрична частка P_2O_5 записується так: **стч** (P_2O_5). Через деякий час позначення даної величини можна латинізувати: *stchiometryc part* (англійська мова) або *st.p.* (наприклад, *st.p.* (P_2O_5)).

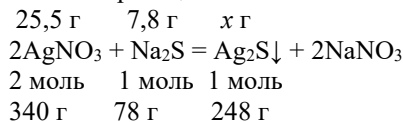
Далі на конкретних прикладах покажемо використання цієї величини при розв'язуванні задач.

Задача 1. До розчину, що містить нітрат аргентуму масою 25,5 г, додали розчин, що містить сульфід натрію масою 7,8 г. Яка маса осаду утвориться при цьому?

Для економії часу не будемо позначати фізичний стан речовин у стехіометричному рівнянні реакції.

Розв'язання.

Рівняння реакції:



Знаходимо стехіометричні частки речовин, що вступили в реакцію:

$$\text{Стч}(\text{AgNO}_3) = \frac{25,5}{340} = 0,075;$$

$$\text{Стч}(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{7,8}{78} = 0,1.$$

$0,1 > 0,075$, звідси Na_2S в надлишку, а AgNO_3 повністю вступає в реакцію.

$$\text{Пропорція: } \frac{25,5}{340} = \frac{x}{248}, \quad x = \frac{25,5 \cdot 248}{340}, \quad x = 18,6 \text{ г}.$$

Відповідь: маса осаду складає 18,6 г.

Традиційний спосіб розв'язування задачі дивіться в посібнику [3] Г.П. Хомченка стор. 22, задача № 1.58. Авторське розв'язання, разом з умовою задачі, займає більше однієї сторінки. Зовсім неважко помітити, що розв'язувати дану задачу через молі не доцільно.

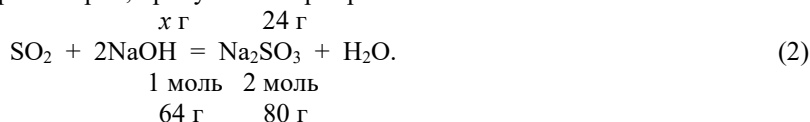
Задача 2. Під час згорання технічної сірки масою 10 г виділився газ, який пропустили через надлишок розчину гідроксиду натрію. У реакцію вступив гідроксид масою 24 г. Визначте масову частку сульфур у технічному продукті.

Розв'язання.

Напишемо рівняння реакції горіння сірки:



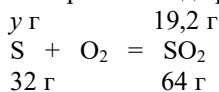
Газ, який виділився під час горіння сірки, пропустили через розчин NaOH :



Визначимо стехіометричну частку NaOH: $\text{стч}(\text{NaOH}) = \frac{24}{80} = 0,3$.

Маса SO_2 складатиме $m(\text{SO}_2) = 0,3 \cdot 64 = 19,2$ (г).

Повертаючись до рівняння (1), маємо:



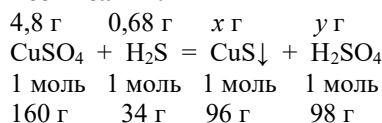
Звідки $\text{стч}(\text{SO}_2) = \frac{19,2}{64} = 0,3$. Стч (S) теж дорівнює 0,3.

Отже, маса сірки в технічному продукті $y = m(\text{S}) = 0,3 \cdot 32 = 9,6$ (г) і масова частка S в технічному продукті: $\omega(\text{S}) = \frac{9,6}{10} \cdot 100\% = 96\%$.

Відповідь: 96%.

Задача 3. До розчину, що містить 4,8 г сульфату купруму, добавили розчин із вмістом 0,68 г сірководню. Визначити масу сульфиду купруму, що утворився та склад і вміст сполук у розчині.

Розв'язання.



Для визначення яка з речовин взята в надлишку, знаходимо стехіометричні частки речовин, що вступили в реакцію:

$$\text{стч}(\text{CuSO}_4) = \frac{4,8}{160} = 0,03;$$

$$\text{стч}(\text{H}_2\text{S}) = \frac{0,68}{34} = 0,02.$$

Оскільки $0,03 > 0,02$, то в надлишку CuSO_4 , який становить $0,03 - 0,02 = 0,01$ (стч.)

Тоді маса CuSO_4 становить $m(\text{CuSO}_4) = 160 \cdot 0,01 = 1,6$ (г),

$x = m(\text{CuS}) = 0,02 \cdot 96 = 1,92$ (г),

$y = m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,02 \cdot 98 = 1,96$ (г).

При цьому стехіометрична величина обчислена за рівнянням реакції помножена на стч даної речовини.

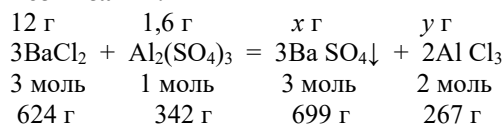
Отже, маса сульфиду купруму складає 1,92 г, а до складу сполук у розчині увійшли сірчана кислота – 1,96 г та сульфат купруму – 1,6 г.

Відповідь: $m(\text{CuS}) = 1,92$ г, $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,96$ г, $m(\text{CuSO}_4) = 1,6$ г.

Для початкового ознайомлення з розрахунками за стехіометричними рівняннями реакцій з використанням стехіометричних часток найбільш доцільно розпочинати із задач на надлишок однієї з реагуючих речовин.

Задача 4. До розчину, що містить 12 г хлориду барію, долило розчин, що містить 1,6 г сульфату алюмінію. Обчисліть масу осаду і масу речовин, що залишились в розчині.

Розв'язання.



Визначимо $\text{стч}(\text{BaCl}_2) = \frac{12}{624} \approx 0,019$ та $\text{стч}(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{1,6}{342} \approx 0,005$.

Оскільки $0,019 > 0,005$, то $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ повністю вступає в реакцію.

Надлишок стехіометричної частки $\Delta \text{стч}(\text{BaCl}_2) = 0,019 - 0,005 = 0,014$.

Отже, маса надлишку BaCl_2 становить $m(\text{BaCl}_2) = 0,014 \cdot 624 \approx 8,7$ (г), маса осаду – $m(\text{BaSO}_4) = 0,005 \cdot 699 \approx 3,5$ (г), $m(\text{AlCl}_3) = 0,005 \cdot 267 \approx 1,3$ (г).

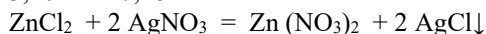
Традиційним способом розв'язування такої задачі займає трохи більше часу.

Отже, шукати надлишок речовин простіше, якщо порівнювати стехіометричні частки реагуючих величин.

Задача 5. До розчину цинк хлориду масою 120 г, що містить 3,40 г цієї солі, добавили розчин аргентум нітрату масою 80 г із вмістом солі 7,48 г. Обчислити масові частки (у %) речовин в отриманому розчині після відокремлення осаду, що утворився.

Розв'язання.

3,40 г 7,48 г



1 моль 2 моль 1 моль 2 моль

136 г 340 г 189 г 287 г

1. Знаходимо яка речовина в надлишку. Для цього обчислюємо стехіометричні частки цих речовин:

$$\text{стг}(\text{ZnCl}_2) = \frac{3,40}{136} = 0,025; \quad \text{стг}(\text{AgNO}_3) = \frac{7,48}{340} = 0,022.$$

Оскільки $0,025 > 0,022$, то ZnCl_2 в надлишку, а AgNO_3 повністю вступає в реакцію.

2. Надлишок $\text{стг}(\text{ZnCl}_2)$ складає $0,025 - 0,022 = 0,003$, маса надлишку ZnCl_2 , яка перебуває в розчині складе $0,003 \cdot 136 = 0,408$ (г).

3. Аналогічно знаходимо масу $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ в розчині, яка складатиме $0,022 \cdot 189 = 4,158$ (г).

4. Знаходимо масу осаду: $0,022 \cdot 287 = 6,314$ (г).

5. Знаходимо масу розчину: $120 + 80 - 6,314 \approx 193,7$ (г).

6. Знаходимо масові частки речовин в розчині:

$$\omega(\text{ZnCl}_2) = \frac{0,408}{193,7} \cdot 100\% \approx 0,21\%$$

$$\omega(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2) = \frac{4,158}{193,7} \cdot 100\% \approx 2,15\%.$$

Корисно ознайомити учнів з термохімічними розрахунками.

Задача 6. Обчислити теплоту, що виділяється при спалюванні 1 кг вугілля, якщо термохімічне рівняння має вигляд: $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 401 \text{ кДж}$.

Розв'язання.

Пишемо рівняння реакції

1000 г x кДж



12 г

Над формулами в рівнянні реакції записуємо кількісні дані задачі, під формулами – стехіометричні величини.

Задачу можна розв'язати двома способами.

- 1 спосіб.** Міркуємо так. При згорянні 12 г вугілля виділяється 401 кДж теплоти, а при спалюванні 1 кг (1000 г) вугілля виділяється x кДж теплоти.

Складаємо пропорцію: $12 : 401 = 1000 : x$.

Звідки $12x = 401 \cdot 1000$, $x \approx 33\,417$ кДж.

- 2 спосіб.** Знаходимо $\text{стг}(\text{C})$:

$$\text{Стг}(\text{C}) = \frac{1000}{12}.$$

Далі знаходимо кількість теплоти:

$$Q = 401 \cdot \text{стг}(\text{C}) = 401 \cdot \frac{1000}{12} \approx 33417 \text{ (кДж)}.$$

Отримана відповідь ідентична.

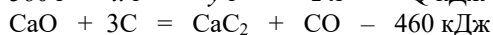
Задача 7. (порівняння різних способів розв'язування задачі)

З антрацитом, що містить 94% карбону, сплавляли 560 г негашеного вапна. Відбулась реакція, рівняння якої є таким: $\text{CaO} + 3\text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO} - 460 \text{ кДж}$. Знайти масу антрациту і карбиду кальцію, об'єм монооксиду карбону (н.у.) та кількість теплоти, що витрачено при здійсненні цього процесу?

Розв'язання.**1 спосіб.**

Пишемо рівняння реакції з вихідними кількісними даними:

560 г x г y г z л Q кДж



1 моль 3 моль 1 моль 1 моль

56 г 36 г 64 г 22,4 л

$$x = 560 \cdot \frac{36}{56} = 360 \text{ (г)}; \text{ маса антрациту становить } \frac{360}{0,94} \approx 383 \text{ (г)}.$$

$$y = 560 \cdot \frac{64}{56} = 640 \text{ (г)}; \text{ маса карбиду кальцію } 640 \text{ г}.$$

$$z = 560 \cdot \frac{22,4}{56} = 224 \text{ (л); об'єм монооксиду карбону 224 л.}$$

$$Q = 560 \cdot \frac{460}{56} = 4600 \text{ кДж – витрата теплоти на реакцію.}$$

Кількість арифметичних дій – 10.

2 спосіб.

Обчислюємо стч (СаО):

$$\text{стч (СаО)} = \frac{560}{56} = 10,$$

$$x = 36 \cdot 10 = 360 \text{ (г).}$$

$$\text{Маса антрациту: } \frac{360}{0,94} \approx 383 \text{ (г).}$$

$$y = 64 \cdot 10 = 640 \text{ (г),}$$

$$z = 22,4 \cdot 10 = 224 \text{ (л).}$$

$$Q = 460 \cdot 10 = 4600 \text{ (кДж).}$$

Кількість арифметичних дій – 6.

Відповідь: 383 г, 640 г, 224 л, 4600 кДж.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Речовини повністю вступають в реакцію між собою, якщо їх стехіометричні частки однакові.

Стехіометричні частки вихідних речовин і продуктів реакції однакові між собою.

Для обчислень потрібно брати маси, об'єми газів (при нормальних умовах) тільки чистих речовин і інші кількісні фактори, які можна достовірно виміряти.

Розв'язування задач з використанням стехіометричних часток приводить до економії часу, паперу, оберігає учнів від перевтоми. Додається буквально декілька нових термінів. Пропонована нами система може бути легко адаптована до традиційної і навпаки. Розумна методична різноманітність ніколи не погіршувала якості навчального процесу.

Алгоритми розв'язування різних типів шкільних задач з хімії можна зблизити у просторі і часі [4].

Такий підхід має певне діагностичне значення.

Учні більш раннього віку можуть ще не вивчати на уроках математики і фізики окремих тем: стандартного запису дуже великих і дуже малих чисел, уявлення про теплоту і одиниці вимірювання тощо. Тому важливим є міжпредметний зв'язок вчителя хімії з учителями математики та фізики для адаптування окремих тем до більш раннього вивчення хімії.

Алгоритмічний висновок: стехіометричну частку множимо на стехіометричну величину, що обчислена за стехіометричним рівнянням реакції.

Загальний висновок: стехіометричні частки всіх учасників реакції рівні між собою по величині і не залежать від їх природи.

Література

1. Фримантл М. Химия в действии. В 2-х ч. Ч.1: Пер. с англ. / Майкл Фримантл. – М: Мир, 1991.
2. Березан О. В. Збірник задач з хімії / О. В. Березан. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2004.
3. Хомченко Г. П. Збірник задач з хімії / Г. П. Хомченко, І. Г. Хомченко. - К. : А.С.К., 2003.

References

1. Fremantle M. Chemistry in action. In 2 parts. Part 1: Trans. with English / Michael Freemantle. - M: Mir, 1991.
2. O. V. Berezan. Collection of problems in chemistry / O. V. Berezan. – Ternopil: Textbooks & manuals, 2004.
3. Khomchenko H. P. Collection of problems in chemistry / H. P. Khomchenko, I. G. Khomchenko. - K.: A.S.K., 2003.

Рецензія/Peer review : 20.07.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

РЯБЧИКОВ М. Л.

Луцький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9382-7562>e-mail: mriabchykov@gmail.com**НАЗАРЧУК Л. В.**

Луцький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-9724-5132>e-mail: nlv_29@ukr.net**СТИЦЮК В. В.**

Луцький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-0509-5726>e-mail: v.stytsyuk@lutsk-ntu.com.ua**ТКАЧУК О. Л.**

Луцький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-5135-4560>e-mail: tkachuk18oksana@gmail.com**КАГАН О. В.**

Луцький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6182-1791>e-mail: o.kagan@lutsk-ntu.com.ua

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ МАГНІТНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВМІСТОМ НАНОСКЛАДОВИХ НА ОСНОВІ ДВО І ТРИВАЛЕНТНОГО ОКСИДІВ ЗАЛІЗА

Визначені основні властивості магнітних текстильних матеріалів на основі наноскладових оксидів заліза. Доведена висока адгезійна міцність утримання нанопорошків. Визначені бактеріостатичні властивості одержаних матеріалів для використання в медичних і захисних виробках. Описані магнітні властивості текстильних матеріалів з вмістом нанопорошків, запропоновані сфери використання в конструкціях смарт одягу. Доведена можливість забезпечення структурних характеристик магнітних матеріалів. Наведена структура напрямків використання магнітних текстильних матеріалів.

Ключові слова: магнітні текстильні матеріали, наноскладові, смарт одяг, медичний текстиль.

Mykola RIABCHYKOV, Liudmyla NAZARCHUK,
Viktoriia STYTSIUK, Oksana TKACHUK, Oksana KAHAN
Lutsk National Technical University

DIFFERENTIAL METHOD OF QUALITY CONTROL OF PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF KNITTED FABRIC FOR BATHING SUIT

The actuality of the introduction of textile materials with the content of nanopowders based on oxides of divalent and trivalent iron has been proven. The main directions of implementation of such materials into real practical results are shown. The algorithm for the synthesis of magnetic nanomaterials was developed. Adhesion properties of magnetic nanopowders to textile fibers are determined. It is shown that exposure for 5 - 7 days ensures almost absolute adhesive resistance and provides a combination of textile properties with magnetic nanopowders. Bacteriostatic properties of nanomagnetic textile materials were determined. For this purpose, the growth dynamics of mold fungi was determined. It is shown that the content of nanomagnetite significantly suppresses the growth of mold infections. The magnetic properties of textile materials are described, the possibilities of their introduction into elements of smart clothing, medical and protective materials are determined. Magnetic technologies in medicine, compression elements of clothing can be provided with the help of magnetic textile materials. The magnetic effects of such materials make it possible to create elements of clothing with a change in geometry. This determines the possibility of using such materials for smart clothes with new effects. The possibilities of creating magnetic nanomaterials with given structural characteristics have been proven. The addition of nanopowders reduces the size dispersion of structural elements, reduces their size, and increases density. This effect allows ensuring the specified transfer characteristics of textile materials, which provide the necessary parameters of heat transfer and mass transfer. The possibilities of using magnetic textile materials against electromagnetic radiation are shown. The structure of directions for the use of magnetic textile materials for medical and protective products, as well as for promising elements of smart clothing, has been developed.

Keywords: magnetic textile materials, nanocomponents, smart clothing, medical textiles.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Однією з тенденцій сучасного текстильного матеріалознавства є надання нових властивостей з елементами розумних рис, можливостей керувати окремими процесами життєдіяльності. В багатьох випадках це пов'язується з нанотехнологіями і наноматеріалами, що використовуються для зміни властивостей текстилю.

Особливо актуальними такі задачі виступають в сферах, пов'язаних зі здоров'ям людини. До цього можна віднести бактеріостатичні, лікувальні, захисні властивості.

Окремі дослідження визначають позитивний вплив на вказані фактори при насиченні текстильних матеріалів металевими нанопорошками. Перспективним, але недостатньо дослідженим напрямом є

використання магнітних нанопорошків на основі суміші двовалентного і тривалентного оксидів заліза. Магнітні властивості створюють додаткові властивості текстильних матеріалів.

Визначення основних властивостей таких матеріалів для використання в смарт одязі, медичних та захисних процесах є актуальною задачею.

Аналіз досліджень та публікацій

Наноматеріали і нанотехнології поширюють своє використання в текстильних матеріалах і виробках. Незважаючи на певні досягнення в створенні наукових засад нанотекстильних матеріалів [1], реальні рекомендації для практичного впровадження розвинені недостатньо. Стаття [2] розглядає перспективні напрямки розвитку текстильних наноматеріалів, зокрема нанониток, що вимагає досить потужної технологічної бази. Ряд наукових досліджень пропонують металеві наночастинки у якості складових наповнювачів текстильних матеріалів. Такі наповнення можуть здійснюватись наночастинками оксиду цинку [3], оксиду титану [4]. Проблеми синтезу металевих наночастинок розглянуті, зокрема в дослідженні [5]. Описані матеріали мають досить багато позитивних властивостей. Використання наноматеріалів на основі оксидів заліза може додати додаткові магнітні властивості, що може розширити сфери використання.

Наночастинки на основі срібла [6] досить обґрунтовано додають антимікробні властивості до модифікованих текстильних матеріалів. Деякі дослідження [7, 8] стверджують наявність антимікробних властивостей у текстильних матеріалів, модифікованих іншими металевими наночастинками. Деякі дотичні дані [9] свідчать про можливість використання для подібних цілей наночастинок на основі оксидів заліза, але використання таких матеріалів для текстильних матеріалів досліджено недостатньо.

Наночастинки можуть надавати текстильним матеріалам специфічних властивостей, що може бути основою для створення смарт одягу [10, 11]. Магнітні властивості, які з'являються у текстильних матеріалів можуть надати додаткові можливості, що можуть бути основою для розробки нових видів розумного одягу. Подальших досліджень вимагає також створення одягу для захисту від іонізуючого випромінювання.

Визначення і забезпечення структури текстильних матеріалів є дуже важливою задачею [13]. За деякими даними [14, 15] використання наноматеріалів може створити умови для регулювання параметрів структури. Запропоновані нами магнітні матеріали можуть створити додаткові умови для регулювання структури текстильних матеріалів.

Таким чином можна зазначити недостатню дослідженість використання магнітних наноматеріалів для створення спеціальних властивостей текстильних матеріалів.

Формулювання цілей статті

Мета дослідження – визначення основних характеристик текстильних матеріалів з вмістом магнітних нанопорошків для імплементації їх в реальні практичні результати.

Задачі, які необхідні для досягнення мати включають:

1. Дослідження проблем синтезу магнітних наноматеріалів на основі оксидів двовалентного та тривалентного заліза, а також визначення адгезійних властивостей таких матеріалів до текстилю.
2. Визначення бактеріостатичних властивостей одержаних матеріалів для впровадження в реальні процеси.
3. Обґрунтування доцільності використання магнітних властивостей одержаних текстильних матеріалів.
4. Визначення можливостей забезпечення заданих структурних характеристик матеріалів з використанням магнітних нанопорошків.
5. В процесі розв'язання задач дослідження можливе також розширення існуючої структури напрямків використання нанотехнологій в текстильних матеріалах [16].

Виклад основного матеріалу

В даній роботі пропонується використовувати магнітні наноматеріали на основі дво і тривалентного оксидів заліза.

Першим кроком при цьому повинен бути синтез наночастинок. Вхідними речовинами для проведення синтезу є сірчане залізо FeSO_4 і хлорне залізо FeCl_3 .

Суміш розчинів стерного заліза і хлорного заліза перемішуються в реакторі. В розчин краплями подається NH_4OH . В процесі перемішування відбуваються хімічні реакції, в результаті утворюються наночастинки суміші двовалентного FeO і тривалентного заліза Fe_2O_3 .

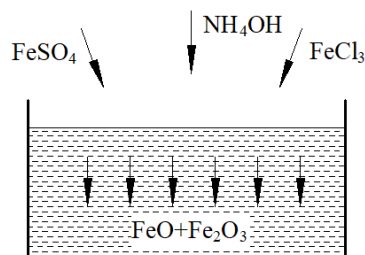


Рис.1 Процес утворення нанопорошку магнітних оксидів заліза

Розподілення розмірів магнітних частинок демонструє наявність значної кількості елементів, що знаходяться в зоні нанорозмірів, певна кількість скупчень частинок може бути реєстрована за допомогою оптичних мікроскопів, що дозволяє визначити і довести реальні нанорозміри одержаних частинок [17].

Одержаний нанопорошок у водяному оточенні має вигляд в'язкої субстанції. З метою створення і дослідження магнітних текстильних матеріалів були підготовлені зразки з бавовняної тканини розміром 5x5 см, які занурювались в дане середовище, витримувались на протязі 20 хвилин, висушувались на повітрі на протязі доби.

Адгезійні властивості магнітних наночастинок до текстильних матеріалів досліджувались декількома напрямками. Були проведені мікроскопічні дослідження одержаних структур (рис.2). При збільшенні в 100 разів на фотографіях можна побачити досить глибоке впровадження мікроелементів в структурні елементи текстильних матеріалів. Звісно, спостереження в оптичних мікроскопах не дозволяють виявити наноструктури, але, як доводиться в [17], дані спостереження в певній мірі можуть бути апроксимовані на нанорозміри.

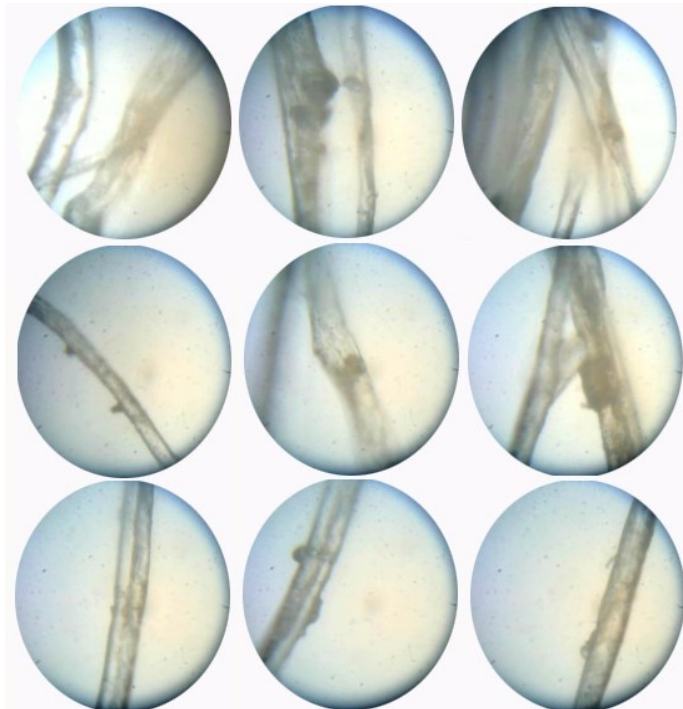


Рис.2 Структурні елементи текстильного матеріалу з магнітними елементами

Додатково визначались адгезійні властивостями шляхом стирання одержаних матеріалів на протязі 20 циклів з подальшим зважуванням зразку. Дослідження показали, що Після витримки 5-7 діб, видалення магнітних елементів з структури текстильного матеріалу практично припиняється, тобто адгезія нанопоршків на протязі цього часу набуває максимального рівня.

Дослідження магнітних властивостей одержаних матеріалів демонструє можливість створення сили притягання до постійного або електричного магніту (рис.3)

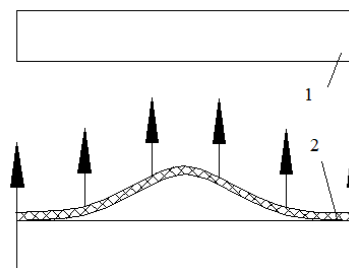


Рис.3. Притягування текстильного матеріалу, модифікованого наночатинками магнетиту до магніту:
1 – магніт, 2 - текстильний матеріал

Подібні властивості текстильних матеріалів дозволяють використовувати їх у різних сферах і напрямках. Магнітні технології використовуються в медицині [18], зокрема для поліпшення обмінних процесів в тілі людини. Ці процеси покращують лікування і відновлення. Магнітні процедури знімають запалення, покращуютьтік крові, знімають біль. Використання магнітних текстильних матеріалів у якості одягу спроможне відтворити медичні магнітні процедури в процесі звичайної життєдіяльності, без відвідування процедурних кабінетів зі спеціальним обладнанням.

Важливим напрямом медичного використання текстилю є створення компресійного одягу, призначеного для лікування варикозних і трофічних хвороб [19, 20]. Основним принципом роботи такого одягу є створення необхідного тиску в певному місці тіла людини. В традиційних методах ці проблеми розв'язуються за рахунок пружних властивостей матеріалу такого одягу. Наявність магнітних текстилю властивостей створює можливість іншого підходу до проблеми. Створення магнітного поля з заданою напругою для магнітного текстильного матеріалу дозволяє забезпечити будь-який заданий тиск в довільному місці тіла людини. На відміну від використання пружних характеристик матеріалу створення тиску за рахунок магнітних властивостей носить характер регулювання і адекватності.

Магнітні властивості текстилю і, відповідно, використання магнітних сил дозволяє створити умови для дійсно розумного одягу [21, 22]. При цьому можна розробляти елементи одягу з можливістю руху, зміни геометрії і посадки на фігури.

Медичні напрями використання магнітних текстильних матеріалів беззаперечно формують питання про взаємодію таких матеріалів з хвороботворними організмами.

Моделювання цих процесів було експериментально перевірено шляхом висадження на магнітні текстильні матеріали питального середовища для зростання пліснявих грибів. Для дослідження процесу були підготовлені зразки текстильних матеріалів з різним вмістом магнетиту. Для цього пропонується суспензія нанопорошку оксидів заліза була розведена в пропорції 1:2, 1:3, 1:4. При цьому останній зразок можна вважати таким, що має мінімальний вміст магнетиту. Висадження на нього культури пліснявих грибів на протязі тижня давало великий обсяг, показаний на рис.4, а. Зразок з співвідношенням 1/3 демонструє дещо нижчу щільність пліснявих грибів (рис.4,б). Для густини суспензії $\frac{1}{2}$ щільність пліснявих грибів зменшується ще сильніше, причому контрастність матеріалу змінюється в значній степені (рис.4,в). Перший зразок з найвищим вмістом магнетиту демонструє практично повну відсутність пліснявих грибів (рис.4,г). Дані дослідження підтверджують високу бактеріостатичну властивість наномагнітних матеріалів на основі двохвалентного і тривалентного оксидів заліза.

Даний ефект надає дуже високі перспективи для використання даних текстильних матеріалів в медичних цілях. Зокрема, бактеріоцидні властивості текстильних матеріалів є необхідною умовою для створення медичних перев'язувальних матеріалів [23-25].

Розробка бактеріостатичного одягу на основі використання подібних матеріалів може значно підвищити властивості виробів, що зберігають здоров'я. Також подібний бактеріостатичний одяг може знайти використання при роботі в небезпечних умовах, зокрема при роботі в інфекційних умовах.

Бактеріостатичні властивості текстильних матеріалів з вмістом наномагнетиту дозволяють виходити за межі медичних використань. Екологічні пакувальні технології в ряді випадків передбачають використання текстильних натуральних матеріалів замість пакувань з полімерних плівок. Бактеріостатичні властивості дозволяють створити умови довгострокового зберігання продуктів.

Якщо мова йде про медичні матеріали для цілей лікування ран, то основною їх задачею є видалення ексудату – рідини, що формується всередині рани [26]. При цьому матеріал обов'язково повинен мати порожнини, які створюють від'ємний тиск і вміщують шкідливі рідини з рани.

Таким вимогам відповідають як текстильні матеріали самі по собі так і пористі матеріали, створені спеціально для таких цілей. Для визначення впливу магнітних наноматеріалів відбувалось спінювання пенопліуретану стандартного вмісту. Технологія виготовлення пінополіуретану передбачає поєднання ізоціонату та поліолу. Нагрівання суміші цих речовин веде до утворення повітряних мікрокапсул і спінювання суміші.

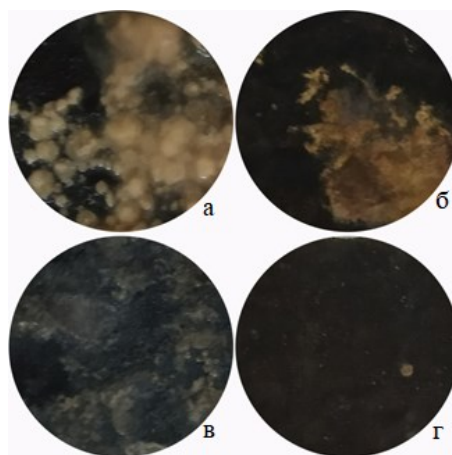


Рис.4. Зростання пліснявих грибів на текстилі з різним вмістом магнетиту

Недоліком стандартних технологій спінювання є досить великий розкид розмірів порожнин (рис.5,а). Додавання наномагнетиту в складі 0,1% від загального об'єму суміші значно зменшує дисперсію розмірів порожнин і збільшує їх кількість (рис.5,б). Ще більший ефект спостерігається при додаванні 0,2% магнетиту (рис.5,в). Таким чином, створення спінених матеріалів з додаванням магнітних нанопорошків значно

збільшує кількість порожнин, а також вирівнює їх розміри. Даний ефект дозволяє не тільки підвищити показники якості матеріалів, але й визначити режими додавання магнітних наноматеріалів, які забезпечують утворення порожнин заданих розмірів, які забезпечують необхідні параметри видалення рідини, що в ряді випадків вимагається технологіями лікування ран [29, 30].

Вказані властивості матеріалів з вмістом намагнітних матеріалів по регулюванню видалення рідини дозволяють значно розширити подібні матеріали в напрямку створення смарт одягу для комфорту споживачів. Такий одяг спроможний створювати необхідний рівень вологості на тілі людини, видаляти піт або навпаки, подавати охолоджуючу рідину.

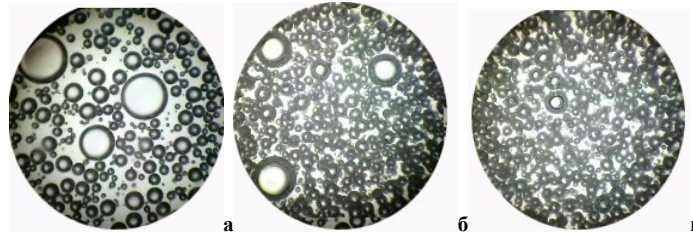


Рис.5. Спінення матеріалів з різним вмістом магнетиту

Звісно, подібні матеріали можуть знайти використання і в суміжних галузях при створенні виробів з заданими характеристиками проходження рідини.

Текстильні матеріали, наповнені нанопоршками заліза набувають властивостей, подібних до металевих суцільних виробів. До таких властивостей, зокрема, можна віднести захист від електромагнітного випромінювання, який є актуальним для ряду галузей.

Викладені напрями імплементації текстильних магнітних матеріалів узагальнені в таблиці 1

Таблиця 1

Напрями імплементації магнітних текстильних матеріалів

Властивості магнітних матеріалів на основі нанопорошків	Медичні цілі	Створення смарт одягу і смарт виробів	Захисні цілі
Бактерицидні властивості	Бактерицидні перев'язувальні матеріали	Бактерицидний одяг	Зберігання продуктів
Магнітні властивості	Створення компресійного одягу	Рухомі елементи одягу	Одяг з захистом від металевих предметів
	Магнітотерапія	Регулювання посадки одягу	
Властивості до пороутворення	Медичні матеріали для відсмоктування екссудату	Регулювання видалення поту і продуктів життєдіяльності	Створення пористих матеріалів з заданими параметрами тепло масопереносу
Бар'єрні властивості	Бар'єрні елементи медичного одягу	Можливість регулювання захисних функцій	Захист від електромагнітного випромінювання

Таким чином, основними напрямками використання магнітних текстильних матеріалів можуть бути технології, пов'язані зі створенням смарт одягу, впровадження медичних текстильних і захисних матеріалів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Доведені основні напрями імплементації текстильних матеріалів з вмістом магнітних нанопорошків в реальні практичні результати. Описаний процес створення магнітних наноматеріалів на основі оксидів двовалентного та тривалентного заліза. Доведені високі адгезійні властивості магнітних нанопорошків до реальних текстильних матеріалів. Доведений ефект значного збільшення бактериостатичних властивостей текстильних матеріалів з вмістом магнітних наноматеріалів. Описані магнітні властивості текстильних матеріалів, можливості їх впровадження в елементи смарт одягу, медичні і захисні матеріали. Визначені ефекти поліпшення структурних характеристик спінених матеріалів з вмістом магнітних наноматеріалів. Розширена структура напрямків використання магнітних текстильних матеріалів для медичних, захисних виробів, а також для перспективних елементів смарт одягу.

Література

1. Magni A. Nanotechnologies and the textile industry: The future is upon us. *Tintoria* -101(10), -2004, pp. 60-61
2. Yezhova O. V. Prognosing development of textile nanotechnologies. *Vlákna a textil*, -24(4), -2017, pp. 66-69

3. Han Y., Obendorf S.K. Reactivity and reusability of immobilized zinc oxide nanoparticles in fibers on methyl parathion decontamination. *Textile Research Journal*. -Vol. 86, -iss. 4, -2016, pp. 339-349
4. Zhang M., Xie W., Tang B., Sun L., Wang X. Synthesis of TiO₂&SiO₂ nanoparticles as efficient UV absorbers and their application on wool. *Textile Research Journal*. -Vol. 87, -iss. 14, -2017, pp. 1784-1792
5. Vlasenko V., Smertenko P., Berezenko S., Arabuli S. Synthesis of metals nano-particles in the porous structure of textiles for uv-shielding. *Vlákna a textil*, -24(4), -2017, -pp. 30-33
6. Xu S., Zhang F., Song J., Kishimoto Y., Morikawa H. Preparation of silver nanoparticle-coated calcium alginate fibers by hyperbranched poly(amidoamine)-mediated assembly and their antibacterial activity. *Textile Research Journal*. -Vol: 86, -iss. 8, -2016, pp. 878-886
7. Gutarowska B., Stawski D., Skóra J., Herczyńska L., Pielech-Przybylska K., PLA nonwovens modified with poly(dimethylaminoethyl methacrylate) as antimicrobial filter materials for workplaces *Textile Research Journal*. -Vol. 85, -iss. 10, -2015, pp. 1083-1094
8. Kar T.R., Samanta A.K., SAJID M., KAWARE R. UV protection and antimicrobial finish on cotton khadi fabric using a mixture of nanoparticles of zinc oxide and poly-hydroxy-amino methyl silicone. *Textile Research Journal*. -Vol. 89, -iss. 11, -2019, pp. 2260-2278
9. Tsykhanovska I., Evlash V., Alexandrov A., Gontar T. Forming the structure of whipped desserts when introducing the food additive "Magnetofood" to their formulation. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. -Vol 2, -No 11 (98), -2019, pp. 45-55
10. Moradi B., Fernández-García R., Gil I. Effect of smart textile metamaterials on electromagnetic performance for wireless body area network systems. *Textile Research Journal*. Vol. 89, iss. 14, 2019, pp. 2892-2899
11. Pérez-Villacastín J., Gaeta E. Smart Clothes to Take Care of People or Smart People Who Use Clothes to Take Care of Themselves? *Revista Española de Cardiología*. -Vol. 68. -Issue 7. -2015, pp. 559-561
12. Diachok T., Berezenko S., Yakymchuk D., Aleksandrov M. Development of equipment for complex man protection from artificial non-ionizing EMR. -*Vlákna a textil*, -26(2), -2019, pp.9-13
13. Rodgers J., Zumba J., Fortier C. Measurement comparison of cotton fiber micronaire and its components by portable near infrared spectroscopy instruments. *Textile Research Journal*. -Vol. 87, -iss. 1, -2017, pp. 57-69
14. Liu S., Tong J., Yang C., Li L. Smart E-textile: Resistance properties of conductive knitted fabric – Single pique. *Textile Research Journal*. -Vol. -87 iss. 14, -2017, pp. 1669-1684
15. Vivcharenko V, Wojcik M, Palka K and Przekora A Highly porous and superabsorbent biomaterial made of marine - derived polysaccharides and ascorbic acid as an optimal dressing for exuding wound management. *Materials* 2021; 14(5),1211: 1-2
16. Bogren S., Fornara A., Ludwig F., Kazakova O., Johansson C. Classification of magnetic nanoparticle systems—synthesis, standardization and analysis methods in the nanomag project . *International Journal of Molecular Sciences* -16(9), -2015, pp. 20308-20325
17. Riabchykov M., Alexandrov A., Nechipor S., Nikulina A. Distribution of the sizes of microcapsules in two-phase emulsions for treatment of textile materials. *Vlákna a textil*, -26(4), -2019, pp. 47-52
18. Pyatakov A., Pyatakova Z., Tishin A.M. (2022) Chapter 1 - Short history overview of magnetism and magnetic technologies for medical applications, *Magnetic Materials and Technologies for Medical Applications*, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials -2022, Pages 3-21
19. Kyzymchuk O., Melnyk L. Influence of miss knit repeat on parameters and properties of elasticized knitted fabric. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* - 2016; - Volume 141. -Number 1. – 012006. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/141/1/012006>
20. Kyzymchuk O, Melnyk L and Arabuli S. Study of Elastic Warp Knitted Bands: Production and Properties. *Tekstilec*. -2020; -Vol. 63 -Issue 2: 113 – 123.
21. Riabchykov M., Alexandrov A., Trishch R., Nikulina A., Korolyova N. Prospects for the Development of Smart Clothing with the Use of Textile Materials with Magnetic Properties. *Tekstilec*, 2022, Vol. 65(1), 36–43 DOI: 10.14502/tekstilec.65.2021050
22. Scataglini S., Moorhead A. P., Feletti F. A Systematic Review of Smart Clothing in Sports: possible Applications to Extreme Sports. *Muscle, Ligaments and Tendons Journal*. Vol. 10 (No.2) 2020. pp.333-342
23. Riabchykov M., Alexandrov A., Sychoy Y., Nikulina A. Bacteriostatic properties of medical textiles treated with nanomaterials based on Fe₂ O₃ *International Conference on Technics, Technologies and Education (ICTTE 2020) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, -2021, -Vol.1031 p.1-5
24. Shi Ch., Wang Ch., Liu H., Li Q., Li R., Zhang Y., Liu Y., Shao Y. and Wang J. Selection of Appropriate Wound Dressing for Various Wounds. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 19 March 2020, <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00182>, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2020.00182/full>
25. Boateng J Wound healing dressings and drug delivery systems: a review. *Journal of pharmaceutical sciences* 2008; V. 97 (8): 2892-2923
26. Kim PJ, Applewhite A, Dardano AN, Wirth G and Teot L Use of a Novel Foam Dressing With Negative Pressure Wound Therapy and Instillation: Recommendations and Clinical Experience. *Wounds : a compendium of clinical research and practice*. -30(3): 2018. P.1-17
27. Liu, X., Niu, Y., Chen, K.C., Chen, S. Rapid hemostatic and mild polyurethane-urea foam wound

dressing for promoting wound healing. *Materials Science and Engineering*, 2017. pp. 289-297

28. Yalcinkaya F. A review on advanced nanofiber technology for membrane distillation *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. -Volume 14: -2019. p.1–12 DOI: 10.1177/1558925018824901

29. Riabchykov M., Alexandrov A., Sychoy Y., Popova T. and Nechipor S. Magnetic nanotechnology in the production of foamed textile materials for medical purposes. *Vlákna a textil Vlákna a textile*. -2021. - (3) Vol 28 —p.66-72

30. Kim W.I.I, Ko Y-G, Park M.R, Jung K.H, Kwon, O.H Preparation and characterization of polyurethane foam dressings containing natural antimicrobial agents for wound healing. *Polymer*. - 2018; 42(5): p.806-812

References

1. Magni A. Nanotechnologies and the textile industry: The future is upon us. *Tintoria* -101(10), -2004, pp. 60-61
2. Yezhova O. V. Prognosing development of textile nanotechnologies. *Vlákna a textil*, -24(4), -2017, pp. 66-69
3. Han Y., Obendorf S.K. Reactivity and reusability of immobilized zinc oxide nanoparticles in fibers on methyl parathion decontamination. *Textile Research Journal*. -Vol. 86, -iss. 4, -2016, pp. 339-349
4. Zhang M., Xie W., Tang B., Sun L., Wang X. Synthesis of $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ nanoparticles as efficient UV absorbers and their application on wool. *Textile Research Journal*. -Vol. 87, -iss. 14, -2017, pp. 1784-1792
5. Vlasenko V., Smertenko P., Bereznenko S., Arabuli S. Synthesis of metals nano-particles in the porous structure of textiles for uv-shielding. *Vlákna a textil*, -24(4), -2017, -pp. 30-33
6. Xu S., Zhang F., Song J., Kishimoto Y., Morikawa H. Preparation of silver nanoparticle-coated calcium alginate fibers by hyperbranched poly(amidoamine)-mediated assembly and their antibacterial activity. *Textile Research Journal*. -Vol: 86, -iss. 8, -2016, pp. 878-886
7. Gutarowska B., Stawski D., Skóra J., Herczyńska L., Pielech-Przybylska K., PLA nonwovens modified with poly(dimethylaminoethyl methacrylate) as antimicrobial filter materials for workplaces *Textile Research Journal*. -Vol. 85, -iss. 10, -2015, pp. 1083-1094
8. Kar T.R., Samanta A.K., SAJID M., KAWARE R. UV protection and antimicrobial finish on cotton khadi fabric using a mixture of nanoparticles of zinc oxide and poly-hydroxy-amino methyl silicone. *Textile Research Journal*. -Vol. 89, -iss. 11, -2019, pp. 2260-2278
9. Tsykhanovska I., Evlash V., Alexandrov A., Gontar T. Forming the structure of whipped desserts when introducing the food additive "Magnetofood" to their formulation. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. -Vol 2, -No 11 (98), -2019, pp.45-55
10. Moradi B., Fernández-García R., Gil I. Effect of smart textile metamaterials on electromagnetic performance for wireless body area network systems. *Textile Research Journal*. Vol. 89, iss. 14, 2019, pp. 2892-2899
11. Pérez-Villacastín J., Gaeta E. Smart Clothes to Take Care of People or Smart People Who Use Clothes to Take Care of Themselves? *Revista Española de Cardiología*. -Vol. 68, -Issue 7, -2015, pp. 559-561
12. Diachok T., Bereznenko S., Yakymchuk D., Aleksandrov M. Development of equipment for complex man protection from artificial non-ionizing EMR. -*Vlákna a textil*, -26(2), -2019, pp.9-13
13. Rodgers J., Zumba J., Fortier C. Measurement comparison of cotton fiber micronaire and its components by portable near infrared spectroscopy instruments. *Textile Research Journal*. -Vol. 87, -iss. 1, -2017, pp. 57-69
14. Liu S., Tong J., Yang C., Li L. Smart E-textile: Resistance properties of conductive knitted fabric – Single pique. *Textile Research Journal*. -Vol. -87 iss. 14, -2017, pp. 1669-1684
15. Vivcharenko V., Wojcik M., Palka K and Przekora A. Highly porous and superabsorbent biomaterial made of marine - derived polysaccharides and ascorbic acid as an optimal dressing for exuding wound management. *Materials* 2021; 14(5),1211: 1-2
16. Bogren S., Fornara A., Ludwig F., Kazakova O., Johansson C. Classification of magnetic nanoparticle systems—synthesis, standardization and analysis methods in the nanomag project. *International Journal of Molecular Sciences* -16(9), -2015, pp. 20308-20325
17. Riabchykov M., Alexandrov A., Nechipor S., Nikulina A. Distribution of the sizes of microcapsules in two-phase emulsions for treatment of textile materials. *Vlákna a textil*, -26(4), -2019, pp. 47-52
18. Pyatakov A., Pyatukova Z., Tishin A.M. (2022) Chapter 1 - Short history overview of magnetism and magnetic technologies for medical applications, *Magnetic Materials and Technologies for Medical Applications*, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials -2022, Pages 3-21
19. Kyzymchuk O., Melnyk L. Influence of miss knit repeat on parameters and properties of elasticized knitted fabric. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* - 2016; - Volume 141. -Number 1. - 012006. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/141/1/012006>
20. Kyzymchuk O., Melnyk L and Arabuli S. Study of Elastic Warp Knitted Bands: Production and Properties. *Tekstilec*. -2020; - Vol. 63 -Issue 2: 113 – 123.
21. Riabchykov M., Alexandrov A., Trishch R., Nikulina A., Korolyova N. Prospects for the Development of Smart Clothing with the Use of Textile Materials with Magnetic Properties. *Tekstilec*, 2022, Vol. 65(1), 36–43 DOI: 10.14502/tekstilec.65.2021050
22. Scataglini S., Moorhead A. P., Feletti F. A Systematic Review of Smart Clothing in Sports: possible Applications to Extreme Sports. *Muscle, Ligaments and Tendons Journal*. Vol. 10 (No.2) 2020. pp.333-342
23. Riabchykov M., Alexandrov A., Sychoy Y., Nikulina A. Bacteriostatic properties of medical textiles treated with nanomaterials based on Fe_2O_3 International Conference on Technics, Technologies and Education (ICTTE 2020) *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, -2021, -Vol.1031 p.1-5
24. Shi Ch., Wang Ch., Liu H., Li Q., Li R., Zhang Y., Liu Y., Shao Y. and Wang J. Selection of Appropriate Wound Dressing for Various Wounds. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 19 March 2020, <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00182>, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2020.00182/full>
25. Boateng J. Wound healing dressings and drug delivery systems: a review. *Journal of pharmaceutical sciences* 2008; V. 97 (8): 2892-2923
26. Kim PJ, Applewhite A, Dardano AN, Wirth G and Teot L Use of a Novel Foam Dressing With Negative Pressure Wound Therapy and Instillation: Recommendations and Clinical Experience. *Wounds : a compendium of clinical research and practice*. -30(3): 2018. P.1-17
27. Liu, X., Niu, Y., Chen, K.C., Chen, S. Rapid hemostatic and mild polyurethane-urea foam wound dressing for promoting wound healing. *Materials Science and Engineering*, 2017. pp. 289-297
28. Yalcinkaya F. A review on advanced nanofiber technology for membrane distillation *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. - Volume 14: -2019. p.1–12 DOI: 10.1177/1558925018824901
29. Riabchykov M., Alexandrov A., Sychoy Y., Popova T. and Nechipor S. Magnetic nanotechnology in the production of foamed textile materials for medical purposes. *Vlákna a textil Vlákna a textile*. -2021. - (3) Vol 28 —p.66-72
30. Kim W.I.I, Ko Y-G, Park M.R, Jung K.H, Kwon, O.H Preparation and characterization of polyurethane foam dressings containing natural antimicrobial agents for wound healing. *Polymer*. - 2018; 42(5): p.806-812

Рецензія/Peer review : 04.06.2022 p.

Надрукована/Printed :02.08.2022 p.

ДУМИН І. Б.

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-5569-2647>e-mail: iryna.b.shvorob@lpnu.ua

СЕМІЧ Т. В.

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-3275-8727>e-mail: tamara.semych-knm.2018@lpnu.ua

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ОНЛАЙН-СЕРВІСУ ДЛЯ КОРОТКОСТРОКОВОЇ ОРЕНДИ ЖИТЛА ДЛЯ ТУРИСТІВ

Метою даної статті є створення вимог для пошукової системи житла для туристів, зручної у користуванні та з приємним дизайном, адаптованої для різних користувачів з можливістю міжкультурного обміну. Основним завданням є створення такого онлайн-сервісу, що зможе поєднати в собі особливості Booking.com як структурованої системи оренди житла, та платформи Couchsurfing.com як сервісу для обміну гостинністю та пошуку нових друзів у світі. Під час роботи було проведено детальний огляд та вивчення процесу розвитку сфери туризму, вплив мережі Інтернет на популяризацію онлайн-сервісів для пошуку та оренди житла. Було описано наявні аналоги систем оренди житла.

Відповідно до проведених досліджень було сформовані та описані функціональні вимоги до майбутнього сервісу, обрано для реалізації архітектуру створення програмного застосунку типу «client-server», описано кроки реалізації програмного продукту, створення сховища даних, а також наведено зображення вже готового онлайн-сервісу.

Ключові слова: оренда житла, туризм, онлайн-платформа, проектування онлайн-платформи.

Iryna DUMYN, Tamara SEMYCH

Lviv Polytechnic National University

FEATURES OF DESIGNING ONLINE SERVICE FOR SHORT-TERM RENTAL OF HOUSING FOR TOURISTS

The aim of this work is to create requirements for the search engine housing system for tourists, easy to use and with a pleasant design, adapted to different users with the possibility of intercultural exchange. The main task is to create an online service that combines the features of Booking.com as a structured rental system and the Couchsurfing.com platform as a service for sharing hospitality and finding new friends worldwide.

During the work, a detailed review and study of the development process of tourism and the impact of the Internet on the promotion of online services for finding and renting housing. Existing analogues of rental housing systems were described.

The main task of developed online service is to provide tourists with the opportunity to search for and rent apartments for the duration of their travels. The traveler, being on the site's main page, should be able to specify the search criteria, namely to enter the details of the destination, the desired rental dates, the number of inhabitants and special requirements for apartments. The online service, in turn, must immediately sort the proposals based on the specified characteristics and display options to the user.

According to the research, functional requirements for the future service were formed and described, the architecture of client-server software development was chosen for implementation, steps of software product implementation were described, data warehouse creation was created, and the image of ready online service was presented.

Keywords: rental housing, tourism, online platform, online platform design.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Мережні технології вплинули на спосіб взаємодії бізнесу зі споживачами й партнерами, шляхи купівлі-продажу товарів та послуг, а також сутність бізнес-моделей і форми інформаційної взаємодії. Особливо бурхливий розвиток інформаційних технологій можна було спостерігати під час пандемії COVID-19[1].

Купівля предметів одягу, медикаментів, продуктів чи житла – все це в сучасному світі робиться всього в декілька кліків по екрану монітору власного телефону чи ноутбуку, без необхідності виходити з дому[2].

Розвиток науково-технічного прогресу надав технічні можливості для динамічного розвитку туристичної діяльності. Все частіше люди відмовляються від послуг спеціально навчених людей із туроператорських агентств, що пропонують застарілі, зовсім непривабливі варіанти поїздок, та надають перевагу самостійному плануванню своєї майбутньої подорожі.

Наразі існує достатня кількість онлайн сайтів, що надають такі послуги користувачам. Проте ці сервіси не завжди можна назвати зручними у використанні, чи такими, що задовольняють всі бажання клієнта. Пошук омріяних апартаментів з усіма комфортними умовами для життя, номеру в дорогому готелі чи скромному хостелі часто перетворюється на справжнє випробування.

Саме тому основною ціллю даної статті є визначення вимог для подальшої реалізації функціонального програмного забезпечення, а саме онлайн-сервісу для короткострокової оренди житла для туристів.

Аналіз останніх джерел

В роботі [2] наведено дослідження про розуміння процесу онлайн-бронювання готелів та наведено моделі поведінки та здійснення вибору кінцевим користувачем. Робота [3] наводить дані про використання віртуального простору для розвитку туристичних мереж.

Ідея здачі житла в оренду не нова і у наш час вона набирає нових обертів завдяки Інтернет-ресурсам. Саме тому в мережі Інтернет при пошуку системи для короткострокової оренди оселі можна наткнутися, як на сайти окремих готелів, віл чи хостелів в певному місті, так і на основні веб-застосунки, що надають можливість шукати варіанти житла з будь-якої точки світу в будь-якій іншій точці світу. Було проаналізовано такі існуючі платформи для здійснення онлайн-бронювання житла: Booking.com[5], Agoda.com[6], Airbnb.com[7], Couchsurfing.com[8]. Аналіз переваг та недоліків вищезазначених систем дозволив детальніше ознайомитись із особливостями роботи таких платформ та дозволив сформулювати вимоги щодо проектування онлайн-платформи для тимчасового бронювання житла.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є створення вимог для проектування пошукової системи житла для туристів, зручної у користуванні та з приємним дизайном, адаптованої для користувачів різних вікових категорій з можливістю міжкультурного обміну.

Виклад основного матеріалу

Для успішного проектування онлайн-сервісу необхідно визначити основний порядок дій взаємодії користувача із застосунком та основні дії, які сервіс повинен виконувати.

Функціональні вимоги до розроблюваного програмного забезпечення:

1. Автентифікація орендаря або орендодавця в системі.

Програмний продукт повинен дозволяти користувачеві пройти процес авторизації за допомогою логіна та паролю. Для логіну використовуватиметься адреса електронної скриньки.

Ця інформація повинна зберігатися у базі даних у наступному форматі: букви англійського алфавіту та цифри з обмеженим розміром до 24 символів для логіну та від 6 до 24 символів (латинські літери, цифри, додаткові символи типу «_») для паролю.

2. Перевірка введених даних.

У разі спроби введення невірної логіну або паролю при вході до системи, користувачу повинно бути показано повідомлення про відмову в доступі, а також наведено відповідну причину цієї відмови.

3. Реєстрація нових користувачів онлайн-сервісу.

Неавторизована особа не має можливість користуватися всіма функціями, що надає дане програмний продукт. Створення особистого профілю – важливий етап. Система повинна реалізувати заповнення всіх необхідних полів, перевірку коректності введеної інформації, її обробку та внесення їх до сховища даних.

Після успішно пройденої процедури створення нового користувацького профайлу, мандрівник повинен отримати доступ до головної веб-сторінки, де в нього буде право переглядати наявне житло для можливої оренди.

4. Бронювання.

Основне завдання даного онлайн-сервісу надання туристу можливості пошуку та оренди апартаментів на період своєї подорожі. Мандрівник, знаходячись на головній сторінці сайту, повинен могли задати критерії пошуку, а саме ввести деталі пункту призначення, бажані дати оренди, кількість мешканців і та особливі вимоги щодо апартаментів. Онлайн-сервіс, у свою чергу повинен одразу відсортувати пропозиції на основі заданих ознак та відобразити варіанти користувачу.

У випадку, якщо мандрівник знаходить варіант, що найкраще йому підходить має бути реалізована можливість резервування та оплати цього житла. Підтвердження оренди зі сторони орендодавця повинно бути надісланим з використанням розсилки електронних листів на електронну поштову скриньку.

5. Наповнення системи інформацією щодо помешкань.

Орендодавець має дещо ширші права, ніж орендар. Його основна перевага та її завдання – внесення даних про наявні до оренди апартаменти. Господар має мати можливість додати нові апартаменти, вказати основні його особливості, додати фотоматеріали чи відео за бажанням.

Для відображення можливих сценаріїв використання системи та її користувачів, будуються діаграми варіантів використання з використанням мови уніфікованого моделювання Unified Modeling Language (UML).

На базі функціональних вимог до програмного забезпечення була побудована діаграма варіантів використання, що надає розуміння взаємодії користувачів з кінцевим програмним забезпеченням (рис.1.).

На даній діаграмі представлені два актори – орендар та орендодавець. Орендар як користувач онлайн-сервісу може використовувати його для пошуку та оренди житла, створення публічного профілю та перегляду вже орендованих помешкань. Орендодавець, як і орендар може використовувати онлайн-сервіс для створення профілю, а також для розміщення можливих варіантів для тимчасового проживання.

Для деталізації роботи системи під час виконання певного сценарію використання наведеного на діаграмі використання (рис.2.), були розроблені діаграми послідовності.

При створенні клієнтського профілю користувач переходить на сторінку реєстрації, заповнює форму всіма необхідними даними. Далі система здійснює перевірку коректності внесеної інформації. Успіх перевірки означає занесення даних до бази сервісу та надання клієнту всіх можливостей онлайн-платформи.

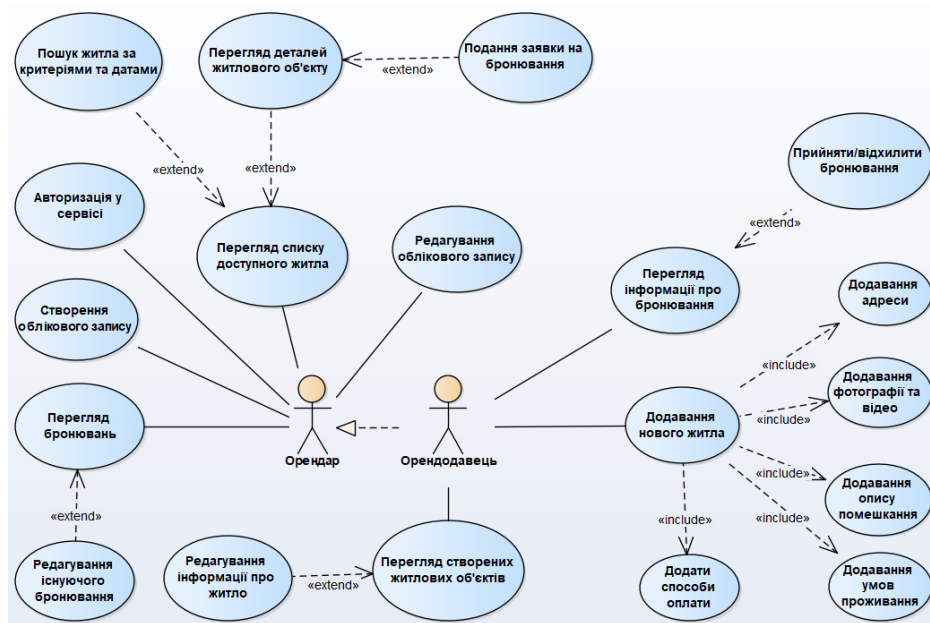


Рис.1. Розроблена діаграма варіантів використання

Така діаграма надає можливість зрозуміти логіку взаємодії компонентів системи. Завдяки наявності діаграми на етапі програмування можна дуже точно визначити перелік необхідних функцій, що будуть міститися у середині задіяних компонентів системи, а на етапі тестування зрозуміти на якому етапі взаємодії могла виникнути та чи інша помилка, та робота яких об'єктів розробленої системи могла бути причиною некоректної поведінки програмного забезпечення.

Діаграма послідовності для процесу входу користувача в систему зображено на рис.3.

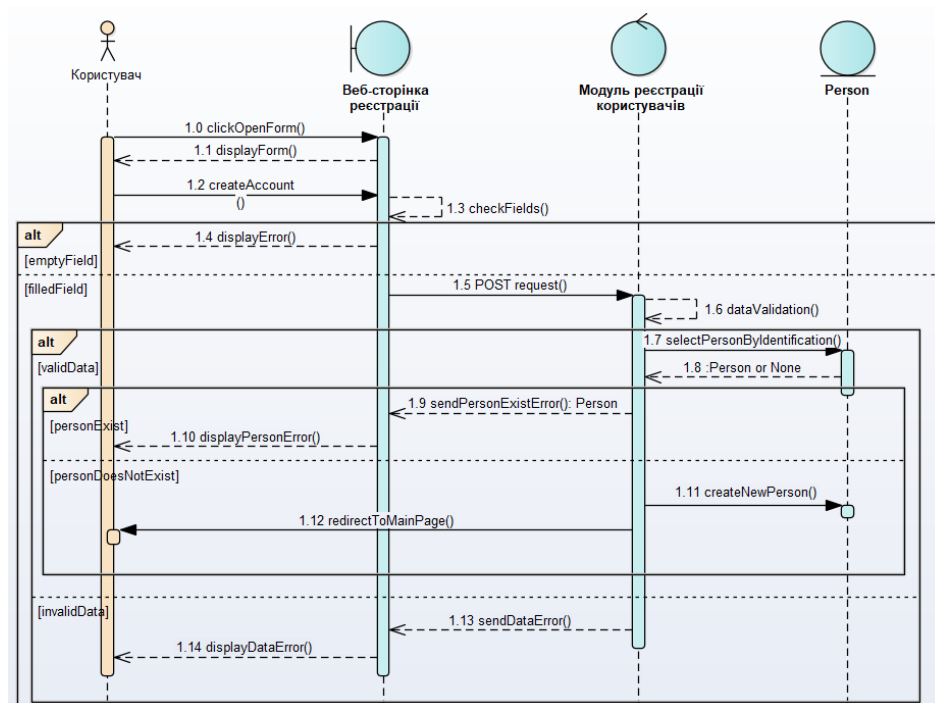


Рис.2. Розроблена діаграма послідовності для реєстрації.

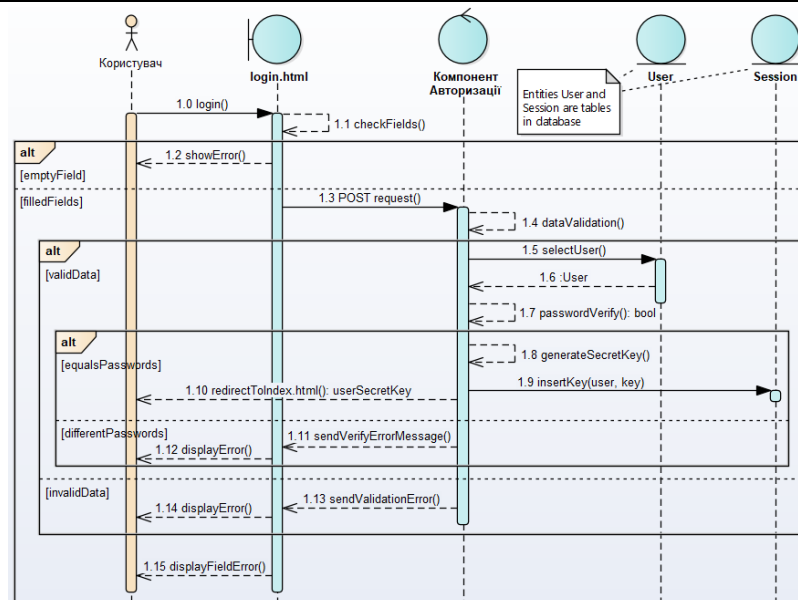


Рис. 3. Розроблена діаграма послідовності для входу в систему.

Для розуміння послідовності взаємодії об'єктів системи під час процесу додавання орендодавцем нових апартаментів до онлайн-сервісу була побудована діаграма послідовності, представлена на рис.4.

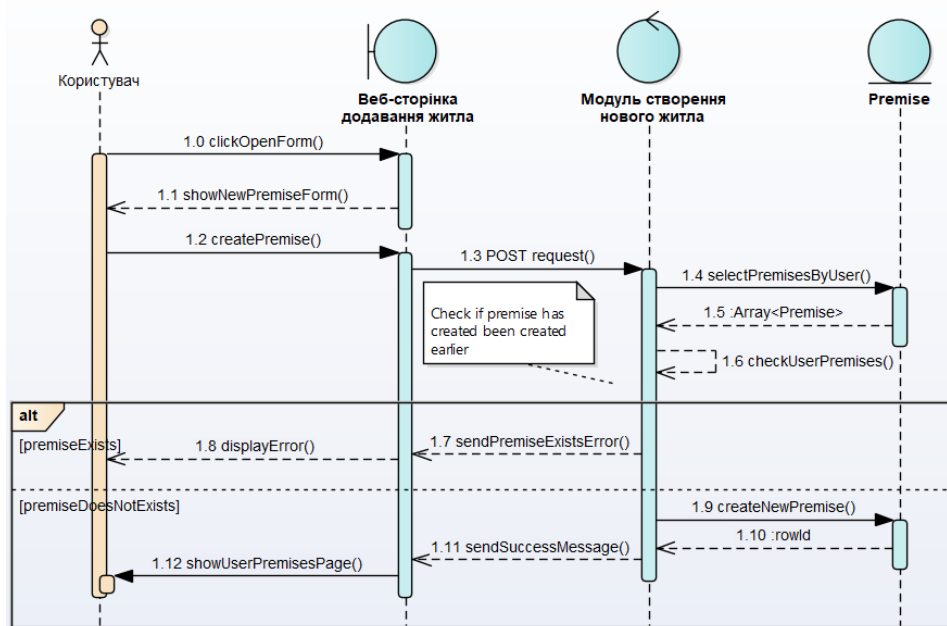


Рис. 4. Розроблена діаграма послідовності для додавання орендодавцем нових апартаментів.

Розроблені діаграми послідовності можна використати на етапі програмування та тестування програмного забезпечення, що зможе надати наступні переваги: прискорення написання коду за рахунок описаної логіки взаємодії, скорочення часу на виправлення знайдених при тестуванні помилок.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проаналізувавши основні сильні та слабкі сторони онлайн-сервісів для короткострокової оренди житла для туристів, а також ознайомившись з основними вимогами, можна дійти висновку, що більшість з них представляють собою чіткі та структуровані бізнес-платформи. Основна їхня ціль – обмін послугами та грошима. Ці сервіси не передбачають тісної взаємодії, а головне комунікації між орендарем та орендодавцем, як це можливо за допомогою Couchsurfing. Наявність великої кількості невизначеності в цієї мережі, робить її непривабливою для тих мандрівників, які люблять чіткі плани.

Саме тому можна сформулювати основні завдання при проектуванні онлайн-платформи для бронювання житла:

1. Проектування та дослідження розробки онлайн-сервісу, що міститиме основні критерії необхідні для оренди житла, а саме пошук за місцем призначення, вибір дат перебування, можливість вибору типу помешкання, фільтрація за наявністю додаткових послуг.

2. Розробка програмних компонентів для керування обліковими записами користувачів сервісу, а саме створення та редагування публічних профілів.
3. Дослідження структури та принципів реалізації програмної архітектури для розробки веб-застосунків «client-server».
4. Розробка зручного функціонального дизайну онлайн-сервісу
5. Реалізація програмного забезпечення.

Література

1. Інформаційні технології після COVID-19. DataArt | Enterprise Software Development Company. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dataart.team/ua/articles/informacionnye-tehnologii-posle-covid-19/>.
2. Постковідний світ та технології: як пандемія вплинула на стартап-екосистему [Електронний ресурс] // Економічна правда – Режим доступу до ресурсу: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/01/19/670136/>.
3. Park, S. Understanding of online hotel booking process: A multiple method approach / S. Park, Y. Yin, B. Son. // Journal of Vacation Marketing – 2019 – 25(3) – С. 334–348. DOI:10.1177/1356766718778879
4. Ткачук Т.М. Віртуальні франчайзингові туристичні мережі світу. Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право. 2018. № 1. С. 72–85.
5. Booking.com: Найбільший вибір готелів, апартаментів та помешкань для проведення відпустки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.booking.com/content/about.uk.html>.
6. Апартаменти для відпочинку та короткострокова оренда - Agoda [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agoda.com/uk-ua/apartments/>.
7. Vacation Homes & Condo Rentals - Airbnb [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.airbnb.com.ua/>.
8. Couchsurfing. Couchsurfing. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.couchsurfing.com/>.

References

1. Informatsiini tekhnolohii pislia COVID-19. DataArt | Enterprise Software Development Company. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://dataart.team/ua/articles/informacionnye-tehnologii-posle-covid-19/>.
2. Postkovidnyi svit ta tekhnolohii: yak pandemiia vplynula na startap-ekosystemu [Elektronnyi resurs] // Ekonomichna pravda – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/01/19/670136/>.
3. Park, S. Understanding of online hotel booking process: A multiple method approach / S. Park, Y. Yin, B. Son. // Journal of Vacation Marketing – 2019 – 25(3) – S. 334–348. DOI:10.1177/1356766718778879
4. Tkachuk T.M. Virtualni franchaizynhovi turystychni merezhi svitu. Zovnishnia torhivlia: ekonomika, finansy, pravo. 2018. № 1. S. 72–85.
5. Booking.com: Naibilshyi vybir hoteliv, apartamentiv ta pomeshkan dla provedennia vidpustky [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.booking.com/content/about.uk.html>.
6. Apartamenty dlia vidpochynku ta kortkostrokovia orenda - Agoda [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.agoda.com/uk-ua/apartments/>.
7. Vacation Homes & Condo Rentals - Airbnb [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.airbnb.com.ua/>.
8. Couchsurfing. Couchsurfing. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.couchsurfing.com/>.

Рецензія/Peer review : 04.07.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

СІНЧУК О. М.

Криворізький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7621-9979>e-mail: acspt@knu.edu.ua

ГОРШКОВ В. В.

ВСП "Гірничо-електромеханічний фаховий коледж Криворізького національного університету"

<https://orcid.org/0000-0002-0838-6337>e-mail: gembk_knu@i.ua

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

На сьогоднішній день, враховуючи стратегії розвитку систем управління та активне впровадженням у різні сфери світової економіки джерел розосередженої генерації, у тому числі на базі відновлюваних джерел електричної енергії, розвиваються гібридні системи штучного зовнішнього освітлення керовані інтелектуальними системами керування. У роботі запропоновано підхід до побудови системи управління зовнішнім освітленням на міських автомагістралях та громадських місцях. Таким чином, у було запропоновано схему децентралізованого управління зовнішнім освітленням на міських автомагістралях та громадських місцях.

Ключові слова: система освітлення, система управління, електротехнічний комплекс, світлодіодні світильники, штучне зовнішнє освітлення.

Oleg SINCHUK

Kryvyi Rih National University

Victor GORSHKOV

VSP "Mining and Electromechanical Vocational College of Kryvyi Rih National University

CONTROL SYSTEM OF THE ELECTRICAL COMPLEX OF STREET LIGHTING

To date, taking into account the strategies for the development of control systems and the active introduction of distributed generation sources into various spheres of the world economy, including those based on renewable sources of electrical energy, hybrid systems of artificial outdoor lighting controlled by intelligent control systems are being developed. The paper proposes an approach to the construction of an external lighting control system on city highways and public places.

Regulation of external lighting is carried out by adjusting the luminous flux of lamps, and the sources of luminous flux are the lamps with which they are equipped. But not all types of lamps are suitable for adjusting the smooth change of light flux.

If there is a communication channel between the network of lamps equipped with EIDs and the dispatching service, it is possible to transmit information about the state of operation of EIDs and the performance of lamps in order to detect deviations in the operation of EIDs and lamps that need to be replaced.

In accordance with the given schedule for changing the level of external lighting, the KD software sends a command to change the level of light flux on specific lamps. The control unit transmits incoming information (a command) to the control unit, which, together with the lamp control channel connected to it, forms a local lighting control network.

The decentralized outdoor lighting control system provides for the absence of a control room, server, server access devices, as well as the Internet as a means of communication, executive equipment of the substation and replacement of the PUS with the APUS, as well as the presence of service personnel who will service the equipment of the APUS substation, KOP and SC, as a result of the lack of feedback from the APUS to the OP, i.e. the maintenance of the PS is carried out directly by maintenance and programming specialists

Thus, a scheme for decentralized management of outdoor lighting on city highways and public places was proposed.

Keywords: lighting system, control system, electrical complex, LED lamps, artificial outdoor lighting.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

У світі близько 20 % виробленої електричної енергії витрачається на освітлення, тому впровадження енергозберігаючих та інтелектуальних технологій із кожним роком стає все актуальнішим. Розвинені країни світу постійно реалізують програми, які спрямовані як на забезпечення енергозберігаючих способів освітлення, так і на збільшення економічності освітлювальних приладів [1].

Серед інших сучасних технологій, у сфері штучного зовнішнього освітлення активно впроваджують автоматизовані системи управління, що дозволяють оперативно керувати комутацією зовнішнього освітлення, визначати аварійні ділянки та виявляти непрацездатні штучні джерела світла.

На сьогоднішній день, враховуючи стратегії розвитку систем управління та активне впровадженням у різні сфери світової економіки джерел розосередженої генерації, у тому числі на базі відновлюваних джерел електричної енергії, розвиваються гібридні системи штучного зовнішнього освітлення керовані інтелектуальними системами керування [2].

При проектуванні сучасних систем освітлення, не останнім критерієм є вплив на екологію при експлуатації спроектованої системи.

Враховуючи результати аналізу та проблематику, слід зазначити, що розробка таких сучасних систем зовнішнього штучного освітлення потребує детального вивчення обмежень та завдань, які покладено на проєктовані системи.

Формулювання цілей статті

Розробка системи управління електротехнічним комплексом вуличного освітлення на міських автомагістралях та громадських місцях.

Аналіз досліджень та публікацій

Аналізуючи дані у роботах [2-5] щодо залежності інтенсивності умовної світимості зовнішніх природних та штучних джерел, можна зробити висновок, що рівні впливу можуть бути значені нечіткими інтервалами (дуже низький, низький, задовільний, інтенсивний) [3].

Між тим, з точки зору освітлення дороги та регулювання світлового потоку від вуличних світильників шляхом зміни величини сили струму, з метою зменшення рівня використання електричної енергії, на разі не є ефективним. Даний підхід регулювання необхідний для освітлення доріг в нічний час, при сприятливих погодних умовах та зменшення інтенсивності транспортного руху в нічний час [6-9].

Виклад основного матеріалу

ри нормованій яскравості більше $0,8 \text{ кд/м}^2$ або середній нормованій освітленості більше 15 лк в нічний час допускається зниження рівня вуличного освітлення:

- на 20% при зменшенні інтенсивності транспортного руху до $\frac{1}{2}$ максимальної величини (k_{max});
- на 30% при зменшенні інтенсивності транспортного руху до $\frac{1}{3}$ максимальної величини (k_{max});
- на 40% при зменшенні інтенсивності транспортного руху до $\frac{1}{4}$ максимальної величини (k_{max});
- на 50% при зменшенні інтенсивності транспортного руху до $\frac{1}{5}$ максимальної величини (k_{max}).

Тобто для категорії доріг класу А і Б та підкласу В1 можливе регулювання світлового потоку від вуличних світильників із лампами, в яких можливе регулювання світлового потоку величиною сили струму, що проходить через них.

Так як інтенсивність руху транспорту не є величиною сталою, а залежність як категорії (класу) дороги так і від пори року, і часу доби, від стану дорожнього покриття та його освітлення і погодних умов, тому є можливість регулювання зовнішнього освітлення дороги в залежності від вище перелічених факторів, враховуючи періодичну зовнішню світимість в різних інтервалах часу.

Регулювання зовнішнього освітлення здійснюється шляхом регулювання світлового потоку світильників, а джерелами світлового потоку є лампи якими вони укомплектовані. Але не всі типи ламп придатні до регулювання плавної зміни світлового потоку.

Так, газорозрядні лампи при зменшенні сили струму на 15% негативно впливає на стабільність горіння газового розряду, що стає причиною мерехтіння та зменшення терміну служби лампи у результаті прискорення виходу з ладу електродів.

У світлодіодних світильників джерелом світла є світлодіоди, які мають високу світловіддачу і великий термін служби, а також мають можливість глибокого регулювання світлового потоку від 10% до 100%, та досить легкий спосіб його реалізації, шляхом зміни сили струму, який проходить через світлодіоди.

У світло діодів світильників, з метою регулювання світлового потоку, використовують електронні імпульсні джерела світла живлення (ЕІДЖ), за допомогою яких можна не тільки регулювати не тільки величиною світлового потоку світильників, шляхом зміни сили струму, який буде проходити через світло діоди, а в залежності від складності ЕІДЖ може мати деякі інтелектуальні властивості, в результаті наявності мікропроцесора чи мікроконтролера, що забезпечує виконання самодіагностики системи, моніторингу стану світлодіодів та стану електричної мережі живлення, визначати проміжки робочого часу включення системи освітлення, згідно попередньо заданого розкладу (графіку інтенсивності світлового потоку та робочих інтервалів часу доби протягом певного періоду).

При наявності каналу зв'язку між мережею світильників, вкомплектованих ЕІДЖ, та диспетчерською службою, існує можливість передачі інформації про стан функціонування ЕІДЖ та працездатності світильників з метою виявлення відхилень в роботі ЕІДЖ та світильників, які потребують заміни.

Отже, обладнання системи управління зовнішнім освітленням має ряд додаткових переваг, з точки зору економії: 1) зменшення експлуатаційних витрат та виявлення світильника, який вийшов з ладу; 2) зменшення грошових витрат на заміну світильника або його ремонт; 3) своєчасне виявлення відхилення в роботі ЕІДЖ та його заміні; 4) своєчасне виявлення місця та причину виникнення несправності (відхилення в роботі) світильників.

Централізоване дистанційне управління зовнішнього освітлення (ЦДУЗО) міських доріг являє собою взаємозв'язаних в одну систему наступних складових: 1) диспетчерський пункт (ДП); 2) сервер (СР); 3) підстанція (ПС); 4) мережа світильників (С), вкомплектованих ЕІДЖ і фотодіодами (ФД); 5) канал управління світильників (КУС); 6) пристрій управління світильниками (ПУС).

Мережа Інтернет є засобом зв'язку між комп'ютером диспетчера (КД) і сервером (СР) через пристрої доступу до сервера (ПДСРД) і мережу Інтернет (МІ), а потім через сервер і мережу Інтернет і пристрої доступу до сервера підстанції (ПДСРП) до виконавчого обладнання (ВО) і комутаційного обладнання підстанції (КОП), яка в даний час необхідна для диспетчера.

Одержавши інформацію від серверу (СР), яку передано із комп'ютера (КД), виконавче обладнання підстанції (ВОП) включає силові контакти (СК) комутаційного обладнання підстанції, забезпечуючи подачу

або відключення напруги електромережі живлення світильників (ЕМЖС) на лінію освітлення і світильники (С), які підключені до даної підстанції (ПС).

З метою регулювання світлового потоку (Ф) світильників (С), підстанція обладнана пристроєм управління світильниками (ПУС), які підключені до даної підстанції (ПС). Виконавче обладнання підстанції (ВОП) обмінюється інформацією одержаною від сервера (СР) із управляючим пристроєм світильника (ПУС). Програмне забезпечення комп'ютера диспетчера (КД) повинне забезпечувати управління як окремими світильниками, так і групами світильників.

У відповідності до заданого графіка зміни рівня зовнішнього освітлення програмне забезпечення КД посилає команду про зміну рівня світлового потоку на конкретних світильниках. ВОП передає поступаючи інформацію (команду) на ПУС, який разом із підключеним до нього каналом управління світильниками (КУС) формує локальну мережу управління освітленням (ЛМУО). Аналізуючи одержану команду ПУС визначає які світильники із всієї мережі управління повинні змінити величину світлового потоку (Ф) і посилає управляючий сигнал для даних світильників по каналу управління (КУ). Канал управління світильниками (КУС) може бути різним по способу його реалізації:

- 1) як окремий кабель із провідниками управління;
- 2) безпроводний КУС із використанням радіоканалу;
- 3) КУС з використанням уже існуючих ліній електроживлення, підведених до світильників.

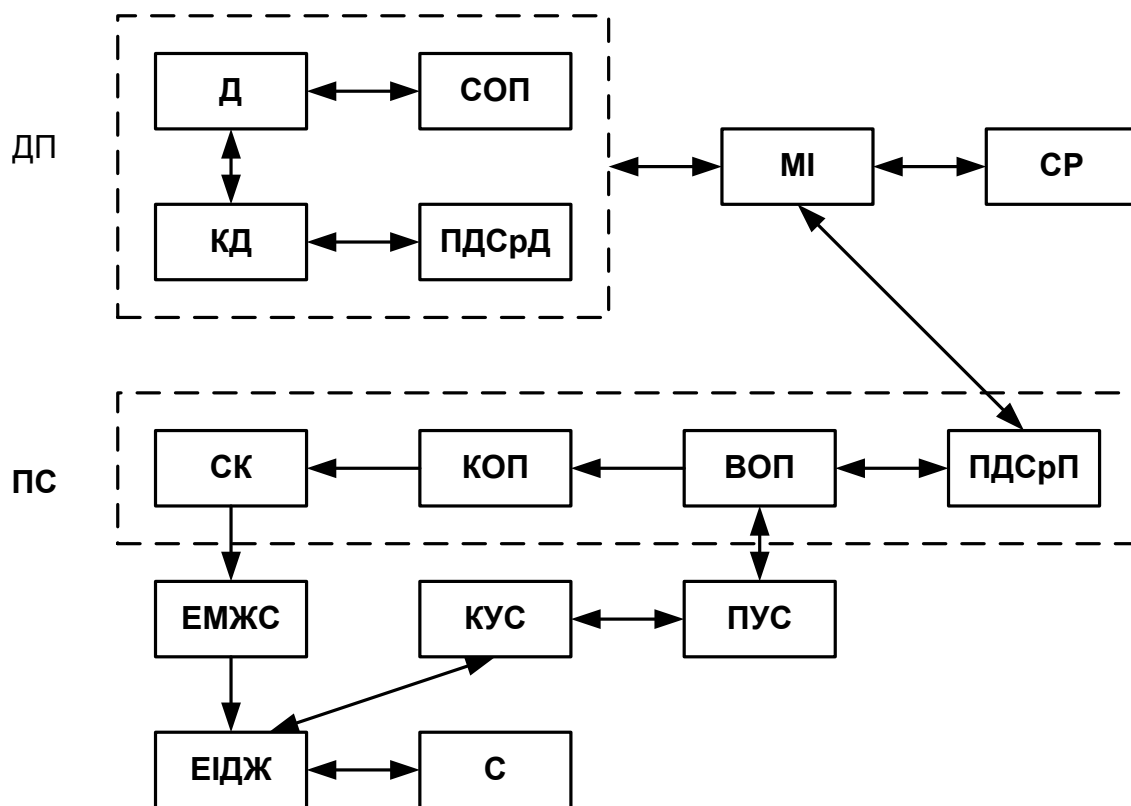


Рис. 1. Схема функціонування централізованого диспетчерського управління мережею світильників зовнішнього освітлення (ЦДУЗО) на міських автомагістралях та місцях загального використання населенням

На рис. 1: 1 – диспетчерський пункт; 2 – підстанція; 3 – мережа світильників; 4 – сервер; 5 – Інтернет; 6 – електромережа живлення світильників; 7 – канал управління світильниками; 1.1 – диспетчер; 1.2 – комп'ютер диспетчера; 1.3 – пристрій доступу до сервера із диспетчерського пункту; 1.4 – спеціалісти по обслуговуванню ЦДУЗО; 2.1 – пристрій доступу до сервера із підстанції; 2.2 – виконавче обладнання підстанції; 2.3 – комутаційне обладнання підстанції; 2.4 – силові контакти; 2.5 – пристрій управління світильниками; 3.1 – електронно-імпульсне джерело живлення світильників; 3.2 – світильники.

Принципова схема ЦДУЗО передбачає дистанційне управління електроживленням світильників шляхом $КД \leftrightarrow СР \leftrightarrow ВОП \leftrightarrow КОП \leftrightarrow СК \leftrightarrow ЕМЖС \leftrightarrow ЕІДЖ \leftrightarrow С$, а також дистанційне управління світловим потоком (Ф) світильників шляхом: $КД \leftrightarrow СР \leftrightarrow ВОП \leftrightarrow ПУС \leftrightarrow КУС \leftrightarrow ЕІДЖ \leftrightarrow С$. Зв'язок ДП з ПС та СР здійснюється через мережу Інтернет, маючи двосторонній зв'язок. А через ЕМЖС і КУС здійснюється електроживлення світильників і управління рівнем світлового потоку (Ф) світильників (С) через ЕІДЖ, яке забезпечує зворотній зв'язок через $КУС \leftrightarrow ПУС \leftrightarrow ВОП$ із СР і ДП через МІ, що забезпечує передачу на ДП всієї інформації про стан функціонування ЕІДЖ і роботи здатність світильників, що знижує рівень експлуатаційних витрат та ремонт в локальній мережі управління освітлення (ЛМУО). В той же час виконавче обладнання підстанції (ВОП) аналізує інформацію одержану від СР та має можливість обмінюватися інформацією із ПУС, який через канал управління світильниками передає відповідну команду

на ЕІДЖ, яке відповідним чином управляє рівнем світлового потоку (Φ), окремими світильниками та передає одержану інформацію від мережі світильників через $\text{КУС} \leftrightarrow \text{ПУС} \leftrightarrow \text{ВОП} \leftrightarrow \text{СР} \leftrightarrow \text{КД}$, через МІ диспетчеру.

Якщо замінити пристрої управління світильниками (ПУС) на автоматичний пристрій управління світильниками (АПУС), який має енергонезалежний годинник реального часу і можливість завжди правильно визначати дату та час доби, із можливістю зміни рівня світлового потоку (Φ) кожної доби протягом календарного року, у відповідності до завчасно поданого графіку управління світильниками, з визначенням конкретного світильника із рівнем зміни світлового періоду доби. Тоді АПУС визначає команди управління рівнем зовнішнього освітлення, які передаються по каналу управління світильників (КУС) через ЕІДЖ до конкретного світильника у визначений час доби, відповідної дати року.

Даний пристрій АПУС функціонує незалежно від виконавчого обладнання підстанції і здійснює управління світильниками по КУС, який може бути реалізований різними способами. При наявності АПУС відсутня необхідність удосконалення диспетчерського пункту (ДП) і сервера (СР), досить нескладна організація локальної мережі управління освітленням.

Якщо АПУС надати додаткові функції щодо управління комутаційним обладнанням електромережі світильників із календарним графіком управління світильниками через комутаційне обладнання підстанції (КОП), тоді можливе функціонування локальної мережі управління зовнішнім освітленням (ЛМУО) без наявності диспетчерського пункту і сервера, а також зникає необхідність зв'язку ДП, СР, ПС через ІМ. А отже, за даних умов управління освітленням стає фактично централізованим, а структурна схема передбачає значне зменшення матеріальних і грошових витрат на облаштування ЛМУО так і на її обслуговування та експлуатацію.

В той же час, децентралізована система управління зовнішнім освітленням (ДЦУЗО) має ряд недоліків, а саме (рис.2) [7]:

- при внесенні змін у графік управління освітленням світильників, з метою внесення змін у програму АПУС, виникає необхідність в наявності спеціаліста по обслуговуванню АПУС та внесення змін у програму на підстанції;
- відсутній зворотній зв'язок про стан функціонування ЛМУО;
- відсутня можливість управління освітлення в даний момент часу без виїзду спеціаліста на підстанцію;
- конструктивна складність і збільшення вартості АПУС.

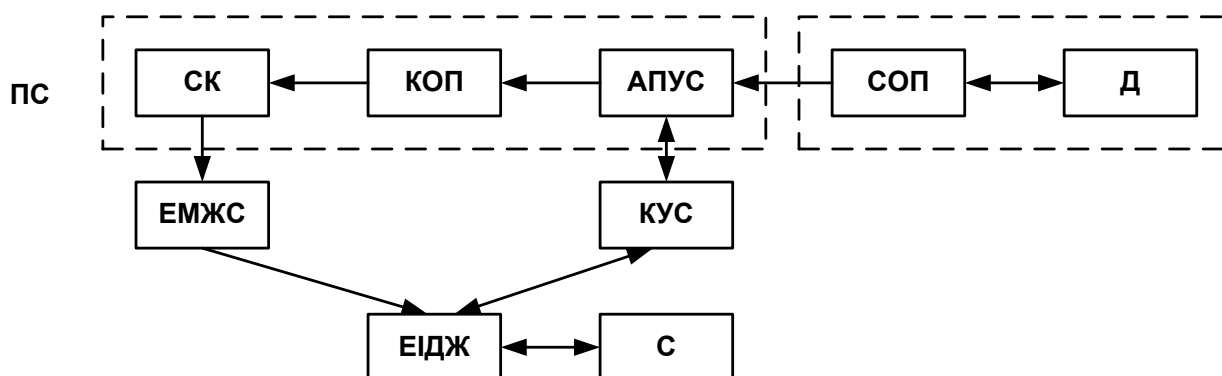


Рис. 2. Схема децентралізованого управління зовнішнім освітленням на міських автомагістралях та громадських місцях

На рис. 2: Д – диспетчер, СОП – спеціаліст по обслуговуванню та програмуванню, ПС – підстанція, АПУС – автоматичний пристрій управління світильниками, КОП – комутаційне обладнання підстанції, СК – силові контакти, ЕМЖС – електромережа живлення світильників, КУС – канал управління світильниками, ЕІДЖ – електронно-імпульсне джерело живлення, С – світильники.

Децентралізована система управління зовнішнім освітленням передбачає відсутність диспетчерського пункту (ДП), сервера (СР), пристроїв доступу до сервера (ПДСрД), а також мережі інтернет (МІ), як засобу зв'язку, виконавчого обладнання підстанції (ВОП) та заміну ПУС на АПУС, також наявність обслуговуючого персоналу (ОП), який буде обслуговувати обладнання підстанції АПУС, КОП і СК, в результаті відсутності зворотнього зв'язку від АПУС до ОП, тобто обслуговування ПС здійснюється безпосередньо спеціалістами по обслуговуванню та програмуванню (СОП) [8].

Канал управління світильниками є дорогим обладнанням і при виході із ладу зникає можливість управління рівнем світлового потоку від світильників (С).

А при виході з ладу АПУС або ж збоїв в роботі можливе порне відключення управління електроживленням світильників та управління світловим потоком (Φ) від світильників.

Зворотній зв'язок між АПУС підстанції та підрозділом ОП можна встановити шляхом облаштування АПУС і підрозділ ОП радіозв'язком, що в свою чергу значно вплине на вартість системи управління обладнанням [9].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. У роботі запропоновано підхід до побудови системи управління зовнішнім освітленням на міських автомагістралях та громадських місцях.
2. Таким чином, у було запропоновано схему децентралізованого управління зовнішнім освітленням на міських автомагістралях та громадських місцях.

Література

1. Аналіз систем зовнішнього освітлення та шляхів підвищення їх ефективності / В. Андрійчук, С. Поталіцин // Вісник ТНТУ. - 2012. - Том 68. - № 4. - С.168-175
2. Говоров П. П. Освітлювальні електричні системи та мережі / П. П. Говоров, В. О. Перепечений, В. П. Говоров // ХНАМГ. – Харків : 2009. – 227 с.
3. Салтиков В. О. Освітлення міст : навч. посібник / В. О. Салтиков. – Харків : ХНАМГ, 2009. – 221 с.
4. Находов В.Ф. Визначення впливу споживачів на нерівномірність електричного навантаження енергетичної системи / В.Ф. Находов, А.І. Замулко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 1998. - №3. - С.19-21.
5. Праховник А.В. Проблеми, методи і засоби управління використанням електричної енергії / А.В. Праховник, В.Ф. Находов // Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 1997. - №1. - С.41-48.
6. Дослідження штучного освітлення на основі зв'язку спеціальних та статистичних методів/ Сосницька Н. Л., Іщенко О. А., Сокот О. Є. // Наукові записки Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка. Сер.: Педагогічні науки, 2019 (177 (2)), – 104-108.
7. Говоров П. П. Автоматизація керування режимами міських електричних мереж : монографія / П. П. Говоров, В. Ф. Харченко, В. П. Говоров ; Харків. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 229 с.
8. Енергоефективні світлодіодні освітлювальні системи : [монографія] / З. Готра, В. Корнага, В. Мартіросова, Г. Нікітський, І. Пастух, А. Рибалочка, В. Сорокін, В. Щиренко; ред.: В. Сорокін; НАН України, Ін-т фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова, Нац. ун-т "Львів. політехніка", НАМН України, Ін-т медицини праці. - Київ : Авісена, 2016. - 334,
9. Hajjaj, M., Miki, M., & Shimohara, K. "The Effect of Using the Intelligent Lighting System to Deduct the Power Consumption at the Office", IEEE 7th Conference on Systems, Process and Control (ICSPPC), 2019. — 66 p.

References

1. Analiz system zovnishnoho osvittlennia ta shliakhiv pidvyshchennia yikh efektyvnosti / V. Andriichuk, S. Potalitsyn // Visnyk TNTU. - 2012. - Tom 68. - № 4. - S.168-175
2. Hovorov P. P. Osvitliuvalni elektrychni systemy ta merezhi / P. P. Hovorov, V. O. Perepechenyi, V. P. Hovorov // KhNAMH. – Kharkiv : 2009. – 227 s.
3. Saltykov V. O. Osvitlennia mist : navch. posibnyk / V. O. Saltykov. – Kharkiv : KhNAMH, 2009. – 221 s.
4. Nakhodov V.F. Vyznachennia vplyvu spozhyvachiv na nerivnomirnist elektrychnoho navantazhennia enerhetychnoi systemy / V.F. Nakhodov, A.I. Zamulko // Naukovi visti NTUU «KPI». – 1998. - №3. - S.19-21.
5. Prakhovnyk A.V. Problemy, metody i zasoby upravlinnia vykorystanniam elektrychnoi enerhii / A.V. Prakhovnyk, V.F. Nakhodov // Naukovi visti NTUU «KPI». - 1997. - №1. - S.41-48.
6. Doslidzhennia shchuchnoho osvittlennia na osnovi zviazku spetsialnykh ta statystychnykh metodiv/ Sosnytska N. L., Ishchenko O. A., Sokot O. Ye. // Naukovi zapysky Tsentralnoukrainskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Vynnychenka. Ser.: Pedahohichni nauky, 2019 (177 (2)), – 104-108.
7. Hovorov P. P. Avtomatyzatsiia keruvannia rezhymamy miskykh elektrychnykh merezh : monohrafiia / P. P. Hovorov, V. F. Kharchenko, V. P. Hovorov ; Kharkiv. nats. un-t misk. hospva im. O. M. Beketova. – Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2017. – 229 s.
8. Enerhoefektyvni svitlodiodni osvittliuvalni systemy : [monohrafiia] / Z. Hotra, V. Kornaha, V. Martirosova, H. Nikitskyi, I. Pastukh, A. Rybalochka, V. Sorokin, V. Shchyrenko; red.: V. Sorokin; NAN Ukrainy, In-t fizyky napivprovodnykiv im. V.Ie. Lashkarova, Nats. un-t "Lviv. politekhnika", NAMN Ukrainy, In-t medytsyny pratsi. - Kyiv : Avitsena, 2016. - 334,
9. Hajjaj, M., Miki, M., & Shimohara, K. "The Effect of Using the Intelligent Lighting System to Deduct the Power Consumption at the Office", IEEE 7th Conference on Systems, Process and Control (ICSPPC), 2019. — 66 p.

Рецензія/Peer review : 11.07.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

СКОПІВСЬКИЙ С.Я.

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>e-mail: skopik.stepan@gmail.com

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ІНФЕКЦІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

В роботі наведено аналіз різноманітних підходів до прогнозування захворювання на COVID-19. Досліджено сучасні роботи вчених в області поширення інфекційних хвороб, застосування машинного навчання до статистичних даних про розповсюдження COVID, його взаємодії з іншими захворюваннями.

Ключові слова: COVID-19, прогнозування, машинне навчання.

Stepan SKOPIVSKY
Lviv Polytechnic National University

ANALYSIS OF INFECTIOUS DISEASES FORECASTING METHODS

At the end of 2019, COVID showed the world its unpreparedness and inability to resist the modification of the influenza virus. The onset of a global pandemic, the spread of the disease, and the large number of deaths have led not only to the search for control of the virus, but also to the possibility of predicting its spread. While some scientists have developed a vaccine, others have studied the prospects of the virus, filling the planet and predicting the number of deaths under certain conditions. Using statistical data, the researchers developed maps of the spread of the virus, possible future targets, and even estimated possible deaths from various strains of COVID-19.

The main task of data forecasting is to create some models from the provided data set in order to provide useful and correct forecasting of future or unknown values of another data set.

For many years, standard statistical methods and mainly the intuition of the doctor, his knowledge and experience have been used to predict the risk of the disease, the occurrence of complications in the patient, the spread of the disease among other people. This approach to disease assessment often leads to unwanted biases, errors and large losses. In the modern field of medicine, such an assessment also has a negative impact on the quality of services provided to patients. With the availability of electronic health data, more reliable and advanced computational approaches have emerged, such as machine learning and big data analysis. The emergence of new methods in data mining has led to the study and application of forecasting methods in the field of disease. In the literature, most relevant studies have used one or more machine learning algorithms to predict a particular disease. For this reason, comparing the effectiveness of different controlled machine learning algorithms for disease prediction is the main focus of this study.

Keywords: COVID-19, forecasting, machine learning.

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

Аналіз даних та прогнозування є одним із найбільш поширених напрямів машинного навчання у сучасному світі. Аналізуючи дані можна дізнаватись дуже багато корисної інформації, яку в подальшому можливо використати для різних цілей, зокрема і спрогнозувати майбутню поведінку досліджуваного об'єкта. Експоненційне збільшення часу в даних зробило важким отримання корисної інформації з даних. Традиційні методи показали велику продуктивність; однак їх прогнозна потужність обмежена, оскільки традиційний аналіз стосується лише первинного аналізу, тоді як аналітика даних стосується вторинного аналізу. Видобуток даних – це «діставання» або видобуток даних з багатьох вимірів або перспектив за допомогою інструментів аналізу даних, щоб знайти попередню невідому закономірність і зв'язок в даних, які можуть бути використані як дійсна інформація; крім того, він використовує цю видобуту інформацію для побудови прогнозової моделі. Інтенсивно і широко використовується багатьма організаціями, особливо в галузі охорони здоров'я.

Великі дані та машинне навчання мають великий потенціал для постачальників медичних послуг систематично використовувати дані та аналітику, щоб виявити модель, яка раніше була невідома. Медичні дані – це одні із найбільш корисних, але в деякій мірі одні з найскладніших даних для аналізу. Аналітика даних з її обіцяною ефективною виявляти цінну закономірність шляхом аналізу великої кількості неструктурованих, неоднорідних, нестандартних та неповних даних про охорону здоров'я. Машинне навчання не тільки прогнозує, але й допомагає у прийнятті рішень, і все частіше його помічають як прорив у постійному прогресі, метою якого є поліпшення якості догляду за пацієнтами та зниження вартості медичного обслуговування. Адже аналізуючи персональні та медичні дані людини є змога проаналізувати стан її здоров'я та спрогнозувати стан здоров'я в майбутньому.

Прогностична аналітика має силу перетворити галузь охорони здоров'я. Її переваги охоплюють якість та ефективність догляду за пацієнтами, а також ефективність та результативність медичного персоналу та організацій. Це також має позитивні наслідки для прибутковості лікарень та інших організацій охорони здоров'я.

Особливо доцільною є прогностична аналітика у сфері прогнозування того чи іншого захворювання людини. Досить часто задача аналізів для прогнозування стану пацієнта займає досить багато часу, зусиль та коштів, проте не завжди вистачає необхідних ресурсів і як результат це може призводити до летальних випадків. Саме тому машинне навчання є досить хорошим помічником у цьому напрямку і може допомогти зберегти велику кількість людських життів.

Аналіз досліджень та публікацій

Досліджуючи дану проблемну область було проаналізовано багато статей, аналогів. У роботі [1] було розроблено алгоритм машинного навчання для прогнозування майбутньої інтубації серед пацієнтів з діагнозом або підозрою на COVID-19. Це ретроспективне когортне дослідження пацієнтів, яким поставлено діагноз або, які перебувають під дослідженням на перенесення COVID-19. Алгоритм машинного навчання був навчений прогнозувати наявність інтубації в майбутньому на основі попередніх показників, лабораторних та демографічних показників. Ця стаття є хорошою для аналізу, оскільки розроблений у ній алгоритм може бути використаний для виявлення пацієнтів з високим ризиком можливості захворіти.

У роботі [2] описують параметри коагуляційної функції хворих на COVID-19 та виявлення факторів ризику розвитку важкої хвороби. У ній було проведено багатовимірний аналіз регресії Кокса для виявлення потенційних біомаркерів для прогнозування прогресування захворювання. За результатами цього аналізу, була побудована номограма та оцінена точність прогнозування за допомогою калібрувальної кривої, кривої прийняття рішення, кривої клінічного впливу та аналізу Kaplan–Meier.

У роботі [3] пропонується відрегульована модель випадкового лісу, підсилена алгоритмом AdaBoost. Модель використовує географічні, туристичні, медичні та демографічні характеристики пацієнта для прогнозування важкості перенесення та можливого результату, одужання або смерті. Модель має точність 94% та оцінку F1 0,86, на використаному наборі даних аналіз виявляє позитивну кореляцію між статтю пацієнтів та смертністю, а також вказує на те, що більшість пацієнтів мають вік від 20 до 70 років.

Робота [4] показує процес очищення даних, який являє собою очищення відсутніх значень, використовуючи інтерполяцію сплайнів та ентропію-кореляцію. Очищення даних потім піддається процесу вилучення ознак за допомогою Principle Component аналізу. Для вибору оптимальних функцій представлений алгоритм Dragon Fly, а результуючий вектор функцій подається до мережі Deep Belief.

Залежність між раковим та коронавірусним захворюваннями досліджується у роботі [5]. Це теоретична робота, в якій досліджується вплив певного захворювання в людини на можливість захворіти COVID-19.

У роботі [6] використано декілька нейронних моделей, а саме ResNet18, ResNet50, SqueezeNet та DenseNet-121, для ідентифікації COVID-19 на аналізованих рентгенівських знімках грудної клітки. Аналізуючи цю статтю, можна детальніше розібратись із даними моделями та можливо використати їх у подальших дослідженнях.

У праці [7] поставлено за мету виявлення взаємозв'язку між певними клінічними показниками (такими як лейкоцити, тромбоцити, вік, стать, наявність суміжних захворювань і т.д.) і тяжкістю коронавірусної хвороби COVID-19 та дослідження їхньої ролі у прогнозуванні тяжкості захворювання COVID-19. Пошук взаємозв'язку був здійснений за допомогою багатовимірної логістичної регресії. Тут здійснено аналіз взаємозалежності багатьох показників стану пацієнта та захворюваністю на COVID-19.

Описано проведення ретроспективного дослідження у 70 безсимптомно інфікованих пацієнтів, підтверджених тестами на нуклеїнові кислоти в провінції Хунань, Китай, з 28 січня 2020 року по 18 лютого 2020 року в роботі [8]. Для оцінки потенційних предикторів появи симптомів була наведена модель регресії Кокса. Як результат було виявлено те, що пацієнти, які курять чи мають легеневу хворобу, були досить схильними до безсимптомного перенесення хвороби, і необхідно бути пильним до цих пацієнтів.

У роботі [9] на основі ретроспективного аналізу було виявлено, що показник FIB підвищений у важких пацієнтів і був кращим, ніж кількість лімфоцитів та міоглобіну, для розрізнення загальних та важких пацієнтів. Дослідження також припустило, що гормональне лікування не має суттєвого впливу на COVID-19.

Було досліджено те, чи КТ точно виявляє важкість перенесення COVID-19 у роботі [10]. Зображення КТ витягували за допомогою LK2.1. Для виявлення суттєвих особливостей було використано двовибірковий t-тест або U-тест Манна-Уїтні. Метод мінімальної надмірності та максимальної релевантності (MRMR) був проведений, щоб знайти характеристики з максимальною кореляцією та мінімальною надмірністю. Потім ці особливості використовувались для побудови моделі текстури радіоміки для виявлення важких пацієнтів за допомогою багатовимірного методу логістичної регресії. Крім того, була побудована клінічна модель. Для оцінки ефективності двох моделей були проведені аналізи ROC. Співвідношення клінічних особливостей та особливостей текстури КТ аналізували за допомогою кореляційного аналізу Spearman.

Проаналізовані роботи досить цікаві та необхідні в даному баченні. Проте на даний час недостатньо досліджень, які б на основі певних показників могли передбачити з певною похибкою наявність COVID-19 у пацієнта.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є дослідження підходів до машинного навчання прогнозування поширення інфекцій та визначення причин відхилень даних.

Виклад основного матеріалу

Традиційно для прогнозування ризику захворювання використовувались стандартні статистичні методи та інтуїція лікаря, знання та досвід. Така практика часто призводить до небажаних упереджень, помилок та великих витрат і негативно впливає на якість послуг, що надаються пацієнтам [11]. Зі

збільшенням доступності електронних даних про здоров'я, більш надійні та вдосконалені обчислювальні підходи, такі як машинне навчання, стали більш практичними для застосування та дослідження в області прогнозування захворювань. У літературі більшість відповідних досліджень використовували один або кілька алгоритмів машинного навчання для прогнозування певної хвороби. З цієї причини порівняння ефективності різних керованих алгоритмів машинного навчання для прогнозування захворювань є основним напрямком цього дослідження.

В навчанні з вчителем маємо деякі вхідні дані x , і прагнемо навчити певну функцію y відображати опрацьовані вихідні дані. Багатокласова класифікація – це завдання класифікації машинного навчання, яке складається з більш ніж двох класів або результатів. Існують сотні моделей для класифікації. Насправді часто можна взяти модель, яка працює для регресії, і перетворити її на модель класифікації. В основному так працює логістична регресія.

Оскільки моделі машинного навчання базуються на математичних рівняннях, можна інтуїтивно зрозуміти, що це може спричинити певні проблеми, якщо з'явиться змога зберігати категоріальні дані в рівняннях, оскільки потрібні лише числа в рівняннях. Тому категоріальні дані кодує у числові дані. Для перетворення таких даних використовують LabelEncoder. LabelEncoder – це об'єкт, який використовують і, який допомагає при передачі категоріальних даних у числові дані.

Після опрацювання даних класифікатор може вчитись прогнозувати результат на тренувальній вибірці даних.

Досягнувши достатньої точності на тренувальній вибірці, система може класифікувати раніше невідомі їй дані за допомогою натренованого класифікатора. Після тренування, класифікатор вже зможе вказати приналежність невідомого йому вектору ознак до одного із трьох очікуваних класів («хворий», «здоровий» та «можливо хворий» відповідно).

Decision tree – один із найпопулярніших алгоритмів машинного навчання. Це керований алгоритм машинного навчання, який використовується як для класифікації, так і для завдання регресії. Це модель, яка використовує набір правил для класифікації чогось.

Розгалуження у дереві базується на контрольних операторах або значеннях, а точки даних лежать по обидва боки вузла розбиття, залежно від значення конкретної ознаки. Структуру дерева рішень можна визначити за допомогою кореневого вузла, який є найважливішою функцією розділення.

Random Forrest – це ансамблевий метод навчання для класифікації, регресії та інших завдань, він діє шляхом побудови великої кількості дерев рішень під час етапу навчання, а також виведення класу, що є режимом класів (класифікація) або усередненого прогнозу (регресія) окремих дерев. Ліси випадкових рішень коригують звичку дерев рішень переоснащувати їх навчальний набір. Випадкові ліси переважно є кращими ніж дерева рішень, проте їх точність нижча, аніж підсилені градієнтами дерева. Однак характеристики даних можуть впливати на їх ефективність.

Простіше кажучи: випадковий ліс будує кілька дерев рішень та об'єднує їх, щоб отримати більш точний та стабільний прогноз.

Support vector machine (SVM) – це один з найпотужніших нестандартних керованих алгоритмів машинного навчання. На відміну від багатьох інших алгоритмів машинного навчання, таких як нейронні мережі, вам не потрібно робити багато налаштувань, щоб отримати хороші результати за допомогою SVM.

Ідея полягає в тому, щоб зіставити точки даних з простором, щоб отримати взаємне лінійне розділення між кожними двома класами. Це називається One-to-One підходом, який розщеплює в мультикласові проблеми в декількох бінарних завдання класифікації. Двійковий класифікатор для кожної пари класів.

Інший підхід, який можна використати, – це One-to-Rest. У цьому підході розбивка встановлюється на двійковий класифікатор для кожного класу.

Один SVM робить двійкову класифікацію і може розрізнити два класи так, щоб, згідно з двома підходами до розбиття, класифікувати точки даних із набору даних класів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

За результатами проведеного аналізу можемо стверджувати, що на сьогодні не достатньо розкрито питання прогнозування штамів COVID, які б на основі певних показників могли передбачити з певною похибкою наявність COVID у пацієнта. Тому дана робота орієнтована на спростування проблеми прогнозування COVID, а також розкриття нових підходів щодо застосування традиційних методів для розв'язання проблеми прогнозування.

Література

1. Arvind V., Kim J. S., Cho B. H., Geng E., and Cho S. K. Development of a machine learning algorithm to predict intubation among hospitalized patients with COVID-19. *Journal of Critical Care*, vol. 62, pp. 25–30, 2021.
2. Bi X. et al. Prediction of severe illness due to COVID-19 based on an analysis of initial Fibrinogen to Albumin Ratio and Platelet count. *Platelets*, vol. 31, no. 5, pp. 674–679, 2020.
3. Iwendi C. et al. COVID-19 patient health prediction using boosted random forest algorithm. *Frontiers in Public Health*, vol. 8, 2020.

4. Koppu S., Maddikunt P. K. R. a, and Srivastava G. Deep learning disease prediction model for use with intelligent robots. *Computers and Electrical Engineering*, vol. 87, 2020.
5. Li Q. et al. Cancer increases risk of in-hospital death from COVID-19 in persons <65 years and those not in complete remission. *Leukemia*, vol. 34, no. 9, pp. 2384–2391, 2020.
6. Minaee S., Kafieh R., Sonka M., Yazdani S., and Jamalipour Soufi G. Deep-COVID: Predicting COVID-19 from chest X-ray images using deep transfer learning. *Medical Image Analysis*, vol. 65, 2020.
7. Shang W. et al. The value of clinical parameters in predicting the severity of COVID-19. *Journal of Medical Virology*, vol. 92, no. 10, pp. 2188–2192, 2020.
8. Tao P.-Y. et al. Determination of risk factors for predicting the onset of symptoms in asymptomatic covid-19 infected patients. *International Journal of Medical Sciences*, vol. 17, no. 14, pp. 2187–2193, 2020.
9. Wang Y. et al. Clinical characteristics and laboratory indicator analysis of 67 COVID-19 pneumonia patients in Suzhou, China. *BMC Infectious Diseases*, vol. 20, no. 1, 2020.
10. Wei W., X.-W. Hu, Q. Cheng, Y.-M. Zhao, and Y.-Q. Ge. Identification of common and severe COVID-19: the value of CT texture analysis and correlation with clinical characteristics. *European Radiology*, vol. 30, no. 12, pp. 6788–6796, 2020.
11. Palaniappan S., Awang R. Intelligent heart disease prediction system using data mining techniques. In: *Computer Systems and Applications, 2008. AICCSA 2008. IEEE/ACS International Conference on*; 2008. p. 108–115. IEEE.

Рецензія/Peer review : 20.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

СЛАВІНСЬКА А. Л.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-0663-9422>e-mail: tksv@khnu.km.ua

МИЦА В. В.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-5453-9787>e-mail: mitsa_vv@ukr.net

АЛЬБЕРТОВИЧ В. В.

Хмельницький національний університет

e-mail: albertovuch1@gmail.com

МЕТОДИКА ВЕРИФІКАЦІЇ СТАНДАРТНИХ АНТРОПОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ОДЯГУ

Виконані дослідження нормативних документів дозволили кількісно оцінити технічні умови застосування антропометричних вимірювань тіла людини і визначити як номенклатура антропометричних вимірювань залежить від класифікації побутового одягу. Технічне регулювання обсягу антропометричної інформації підтверджено еквівалентністю задач оптимізації розглянутих антропометричних стандартів у формі задачі лінійного програмування множин антропометричних вимірювань.

Ключові слова: антропометричне вимірювання, нормативні документи, засоби верифікації, контрольні виміри, розмір одягу.

Alla SLAVINSKA, Viktoriia MYTSA, Viktoriia ALBERTOVUCH
Khmelnytskyi National University

METHOD OF VERIFICATION OF STANDARD ANTHROPOMETRICAL SURVEYS FOR CLOTHING

The performed research of normative documents made it possible to quantify the technical conditions of anthropometric body measurements and to determine how the nomenclature of anthropometric measurements depends on the classification of clothing. The aim of the study was to develop a methodology for verifying anthropometric measurements of the human body, taking into account the functional characteristics of clothing. A criteria approach to the synchronization of verification means of standards identification of measurement names by measurement method and measurement classification groups (horizontal, vertical, others) was used. Validation of standard measurements for the ergonomic design of garments and harmonization of control measurement code designations in finished garments have been performed. Standard control measurements were interpreted into additional dynamic compliance measurements to take into account the level of deformation of parts during operation and to ensure freedom of movement. Technical regulation of the anthropometric information volume is confirmed by the equivalence of the optimization problems of the considered anthropometric standards in the form of the linear programming problem of the set of anthropometric measurements. The matrix of conditions for fixing anthropometric measurements in six regulatory documents was studied. It was established that the set pair 25 < 28 determines the technical conditions of quality control on the dummy of the finished product. Using basic and auxiliary reference measurements in the clothing size designation provides a flexible combination of chest, waist and hip measurements for women and chest and waist measurements for men. Consideration of the range of additional control vertical measurements is confirmed by calculating the indices of balance in the longitudinal direction of the female figure of size 164-96-104.

Keywords: anthropometric survey, regulatory documents, means of verification, control measurements, clothing size.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Проблемі підвищення рівня якості одягу з позицій відповідності вимогам європейських стандартів спрямована на забезпечення конкурентоздатності вітчизняної продукції. Напрямки гармонізації маркування розмірів одягу в різних країнах розглядає методологія розробки антропометричних інформаційних моделей на засадах типології населення [1].

Одним із завдань постановки продукції на виробництво за технічною документацією іноземних фірм являється приведення технічної документації у відповідність до вимог чинного в країні виробника стандартів і норм [2]. В процесах розробки і постановки продукції на виробництво для оцінки рівня якості швейних виробів застосовують стандартизовану номенклатуру показників якості. За сферою застосування антропометричні показники забезпечують контроль спів розмірності і зручності в статичі та динаміці [3, 4].

Особливо актуальним для користування нормативними документами у сфері антропометричного вимірювання тіла людини і одягу стає досягнення оптимального рівня впорядкованості наведення інформації в технічному регулюванні обсягу використання.

Аналіз досліджень та публікацій

Результатом метрологічного контролю антропометричних вимірювань тіла є обов'язковими для сертифікації продукції і поєднують дві системи оцінювання одягу за сферою застосування. Перша система – перевірка відповідності об'єкта конкретним нормативним документам, друга – відповідність характеристик серійної (масової) продукції вимогам споживача [5]. Диференційний метод контролю якості характеристик масової продукції з позицій комфортності розглянуто в [6]. Перспективним напрямком розвитку технологій

комунікацій в антропометричних дослідженнях є використання 3D масивів типових фігур, що створює передумови для дигіталізації контрольних вимірів в процесах оцінки рівня посадки виробу [7].

Системність використання максимальної кількості чинників, що впливають на встановлення обов'язкових вимог і правил в нормативній якості продукції, забезпечує алгоритм верифікації антропометричної інформації в номенклатурі чинних стандартів за рівнем регламентації технічних умов.

Для швейних виробів побутового призначення у масовому виробництві застосовують:

- Стандарти загальних технічних умов – ДСТУ ГОСТ 25294:2005 [8], ДСТУ ГОСТ 25295:2005 [9];
- Стандарти технічних умов – ДСТУ ISO 8559:2006 [10], ДСТУ ISO 3635:2004 [11], ДСТУ ISO 7250:2002 [12], ДСТУ EN 13402-2:2009 [13];
- Стандарти, що встановлюють класифікацію, параметри і (або) розміри – ДСТУ ISO/TR 10652:2006 [14], ДСТУ EN 13402-1:2009 [15], ДСТУ EN 13402-3:2009 [16], ДСТУ ГОСТ 25295:2005 [17].

Критеріальний підхід до групової ідентифікації антропометричної інформації розглянутий в [18]. Аналітичний метод матричного поєднання складових в технічному описі [19] забезпечить контролюючу функцію в задачі оптимізації антропометричних вимірів за рівнем застосування в стандартах.

Формулювання цілей статті

Мета дослідження – розробка методики верифікації антропометричних вимірювань тіла людини з урахуванням функціональних характеристик одягу.

Виклад основного матеріалу

Якість посадки зразків одягу оцінюється спів розмірністю виробу розмірам тіла людини. Для перевірки якості посадки засобами контролю служать зразок моделі, манекен, лінійка, рулетка. Застосування нормативної документації в процесах виготовлення одягу вимагає аналітичного обґрунтування наслідування антропометричної інформації у вимірах типового манекена, кресленні конструкції та готовому виробі [1].

Перевірка чинності стандартів на території України виконана за відповідним показником стандартів на 2022 рік. За базовий стандарт обрано ДСТУ ISO 8559:2006, в програмі якого закладена найбільша чисельність вимірів – 54, точність вимірювань $\pm 1\%$ або ± 5 мм. Апаратура – вимірювальний стенд (антропометр, соматометр); вимірювальна сантиметрова стрічка, тривка до зношування, шириною близько 15 мм і точно від градуйована в сантиметрах.

Модель лінійного каркаса манекена закладена в групи природної послідовності вимірювання: горизонтальні виміри (охоплюючий обхват); вертикальні виміри (з використанням обмірювального стенду, з використанням обмірювальної стрічки по тілу); інші виміри.

Таблиця 1 містить результати ідентифікації стандартних вимірів тіла для забезпечення статичної відповідності виробу розмірам і формі тіла.

Таблиця 1

Ідентифікація найменувань і номерів антропометричних вимірів у нормативних документах

№ п/п	Найменування антропометричного вимірювання в ДСТУ ISO 8559:2006 українська (англійська)	Кодування вимірів						Разом:	%
		Нормативні документи*							
		1	2	3	4	5	6		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Обхват голови (head girth)	2.1.1	48	48	3.5	-	-	4	67
2	Обхват шиї (neck girth)	2.1.2	13	13	3.6	-	12	5	83
3	Обхват основи шиї (neck-base girth)	2.1.3	-	-	-	5	-	2	34
4	Довжина плеча (shoulder length)	2.1.4	31	31	-	4a	13	5	83
5	Ширина плечової частини (shoulder width)	2.1.5	53	53	-	-	14	4	67
6	Ширина спини (bask width)	2.1.6	47	47	-	2	386	5	83
7	Обхват грудей (chest girth)	2.1.7	15	15	3.8	3	18	5	83
8	Обхват грудей (bust girth)	2.1.8	16	16	3.8	-	20	5	83
9	Відстань між сосковими точками (bust width)	2.1.9	46	46	-	-	37	4	67
10	Обхват під грудьми (underbust girth)	2.1.10	17	-	3.9	-	-	3	50
11	Обхват талії (waist girth)	2.1.11	18	18	3.10	6	21	6	100
12	Обхват стегон (hip girth)	2.1.12	19	19	3.11	7	24	6	100
13	Обхват верхньої частини руки (upper-arm girth)	2.1.13	28	28	-	20	-	4	67
14	Обхват ліктя (elbow girth)	2.1.14	-	-	-	21	-	2	34
15	Обхват зап'ястка (wrist girth)	2.1.15	29	29	-	22	-	4	67
16	Обхват п'ясті (hang girth)	2.1.16	30	-	3.16	47	-	4	67
17	Довжина п'ясті (hang length)	2.1.17	-	-	-	40	-	2	34

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	Обхват стегна (thigh girth)	2.1.18	21	21	-	3	-	4	67
19	Обхват середньої частини стегна (mid-thigh girth)	2.1.19	-	-	-	-	-	1	17
20	Обхват коліна (knee girth)	2.1.20	22	22	-	4	-	4	67
21	Обхват під коліном (lower knee girth)	2.1.21	-	-	-	-	-	1	17
22	Обхват литки (calf girth)	2.1.22	23	-	-	-	-	2	34
23	Обхват над щиколоткою (minimum leg girth)	2.1.23	-	-	-	-	-	1	17
24	Обхват щиколотки (ankle girth)	2.1.24	24	24	-	5	-	4	67
25	Довжина ступні (foot length)	2.1.25	-	-	3.17	-	-	2	34
26	Зріст (height)	2.2.1	1	1	3.12	-	1a	5	83
27	Довжина тулуба (trunk length)	2.2.2	70	-	-	1	1	4	67
28	Висота лінії талії (waist height)	2.2.3	7	7	-	-	1-8	5	83
29	Висота стегна (hip height)	2.2.4	8	8	-	-	1-9	4	67
30	Підйом тулуба (body rise)	2.2.5	12-7	12-7	-	27	-	4	67
31	Висота коліна (knee height)	2.2.6	9	9	-	-	-	3	50
32	Висота щиколотки (ankle height)	2.2.7	-	-	-	-	-	1	17
33	Висота шийної точки сидячи (cervical height sitting)	2.2.8	-	-	-	-	3	1	17
34	Глибина лопаток (scye depth)	2.2.9	39	39	-	10	6	5	83
35	Довжина спинки до талії (back waist length)	2.2.10	40	40	-	9	32	5	83
36	Відстань від шийної точки до колінної западини (cervical to knee hollow)	2.2.11	-	-	-	1	-	2	34
37	Висота шийної точки стоячи (cervical height)	2.2.12	10	10	-	-	-	3	50
38	Висота грудей (cervical to breast point)	2.2.13	35	35	-	22	27	5	83
39	Довжина до талії спереду (cervical to (anterior))	2.2.14	36	36	-	34	35	5	83
40	Відстань до центру грудної точки (neck shoulder point to breast point)	2.2.15	35a	-	-	-	-	2	34
41	Довжина талії спереду (front waist length)	2.2.16	61	61	-	33	34	5	83
42	Відстань від лінії талії до стегон (point to hips)	2.2.17	49	-	-	-	9-8	4	67
43	Окружність тулуба (trunk circumference)	2.2.18	-	-	-	-	-	1	17
44	Загальна довжина кроку; довжина нижньої частини тулуба (total crotch length; lower trunk length)	2.2.19	77	-	-	3	-	3	50
45	Обхват основи руки (armscye girth)	2.2.20	28	28	-	20	17	5	83
46	Відстань від точки основи шиї до променевої точки (від плеча до ліктя) (upper arm length (shoulder to elbow))	2.2.21	32	32	-	-	-	3	50
47	Довжина руки (від плеча до зап'ястка) (arm length (shoulder wrist))	2.2.22	68	-	3.15	4	-	4	67
48	Довжина руки від сьомого шийного хребця до зап'ястка (7 th - cervical-to-wrist length)	2.2.23	33	33	-	4	-	4	67
49	Довжина під рукою (under-arm length)	2.2.24	-	-	-	-	-	1	17
50	Відстань від лінії талії до підлоги збоку (outside leg length)	2.2.25	25	25	-	1	-	3	50
51	Довжина стегна (thigh length)	2.2.26	-	-	-	-	-	1	17
52	Внутрішня довжина ноги; висота промежини (inside leg length; crotch height)	2.2.27	27	27	3.14	10	-	4	67
53	Нахил плеча (shoulder slope)	2.3.1	72	-	-	-	4	3	50
54	Маса тіла (body mass)	2.3.2	59	-	-	-	-	2	34
Разом:		54	41	31	10	28	25		

Примітка: *Коди антропометричних вимірів для аналізу відповідають переліку шести нормативних документів: 1 – ДСТУ ISO 8559:2006; 2 – ОСТ 17-326-81; 3 – ЄМКО РЕВ, Том 1; 4 – ДСТУ EN 13402-1:2009; 5 – ДСТУ ГОСТ 25295:2005 – таблиць вимірів готового виробу; 6 – схеми вимірів типового манекена [1].

Для визначення номенклатури контрольних вимірів виділені окремі патерни застосування горизонтальних і вертикальних вимірів для позначення в чинних стандартах розміру одягу (табл. 2).

Таблиця 2

Патерни ідентифікації стандартних вимірів

Нормативний документ	Кодування вимірів												Разом:
	Шифр групи – горизонтальні виміри – 2.1.00												
	1	2	6	7	8	10	11	12	16	17	18	25	
ДСТУ ISO 3635:2004	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	10
ДСТУ ISO/TR 10652: 2006	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-	8
ДСТУ ГОСТ ISO 3637:2007	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	3
ДСТУ ГОСТ ISO 4415:2007	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	2
ДСТУ EN 13402-2:2009	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	3
ДСТУ ГОСТ 25295:2005	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	4
Разом:	1	3	2	5	4	1	5	3	2	1	1	1	30
ДСТУ ISO 3635:2004	Шифр групи – вертикальні виміри – 2.2.00												10
	1	2	10	19	22	23	25	27	14	16			
	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-			
ДСТУ ISO/TR 10652: 2006	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	7
ДСТУ ГОСТ ISO 3637:2007	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	3
ДСТУ ГОСТ ISO 4415:2007	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	2
ДСТУ EN 13402-2:2009	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	2
ДСТУ ГОСТ 25295:2005	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	7
Разом:	5	2	3	1	5	1	3	3	1	1			25

Примітка: рамкою обведені контрольні виміри ергономічної відповідності у статистиці.

Повний перелік вимірів – 22. Ранжування за числом вимірів наступне: ДСТУ ISO 3635:2004 – 13; ДСТУ ISO/TR 10652: 2006 – 15; ДСТУ ГОСТ 25295:2005 – 11.

Включення необхідної інформації з анатомічних основ динамічної антропометрії для ергономістів і конструкторів впливає на рівень інтерпретації антропометричних вимірів в додаткові виміри динамічної відповідності. Таблиця 3 інтерпретує стандартні контрольні виміри в додаткові виміри динамічної відповідності для врахування рівня деформації деталей в процесі експлуатації і забезпечення свободи рухів людини [12].

Таблиця 3

Патерн валідації стандартних контрольних вимірів в додаткові виміри динамічної відповідності

Антропометричний вимір (ДСТУ ISO 7250:2011)	Кодування	Група вимірювання				Разом:
		4.1	4.2	4.3	4.4	
1	2	3	4	5	6	7
Обов'язкові						
Обхват шиї	2.1.2	-	-	-	4.4.8	2
Обхват грудей	2.1.7	4.1.11	4.2.16	-	4.4.9	4
Обхват талії	2.1.11	-	4.2.15	-	4.4.10	3
Обхват стегон	2.1.12	4.1.10 4.1.12	4.2.17	-	-	4
Зріст	2.2.1	4.1.2	4.2.1	-	-	3
Довжина тулуба	2.2.2	-	4.2.3	-	4.4.7	3
Довжина спинки до талії	2.2.10	-	4.2.4 4.2.6	-	-	3
Довжина руки	2.2.22	-	4.2.6 4.2.7	-	4.4.2 4.4.5	5
Відстань від лінії талії до підлоги збоку	2.2.25	4.1.6	4.2.12			3
Додаткові						
Ширина плечової частини	2.1.5	-	4.2.8 4.2.9	-	-	3
Ширина спини	2.1.6	-	4.2.10	-	-	2
Обхват зап'ястка	2.1.15	-	-	4.3.3	4.4.11	3

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
Обхват стегна	2.1.18	-	-	-	4.4.12	2
Обхват литки	2.1.22	-	-	-	4.4.13	2
Висота стегна	2.2.4	-	-	-	4.4.6	2
Висота коліна	2.2.6	4.1.8	4.2.14	-	-	3
Висота шийної точки сидячи	2.2.8	4.1.4	-	-	-	2
Відстань від точки основи ший до променевої точки (від плеча до ліктя)	2.2.21	4.1.5	4.2.5 4.2.6	-	4.4.3	5
Довжина під рукою	2.2.24	-	-	-	4.4.2	2
Внутрішня довжина ноги; висота промежини	2.2.27	4.1.7	-	-	-	2
Нахил плеча	2.3.1	4.1.4	4.2.4	-	-	3
Разом:	21	10	17	1	12	61

Примітка: 4.1.*n* – вимірювання суб'єктів в положенні стоячи (*n* = 1 ... 12); 4.2.*m* – вимірювання суб'єктів в положенні сидячи (*m* = 1 ... 16); 4.3.*d* – вимірювання окремих частин тіла (*d* = 1 ... 14); 4.4.*f* – функційні вимірювання (*f* = 1 ... 13). Рамкою обведені контрольні виміри для включення в таблиць вимірів технічного опису [8,9].

Отримані результати визначають вагомість групи для оцінки якості готового одягу в технічній документації виробника. Контрольні виміри – це виміри тіла людини в сантиметрах, на яких побудована система розмірів і які використовують для визначення відповідного розміру в залежності від його виду [11]. Для позначення розташування на тілі людини відповідних контрольних вимірів використовують ілюстрований символ – стандартна піктограма (рис. 1).

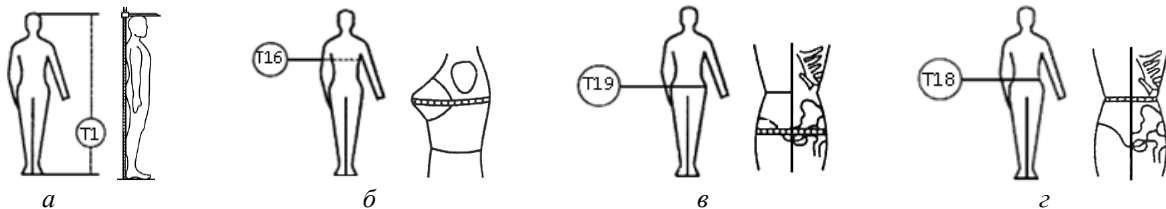


Рис. 1. Піктограми позначення розмірів та розташування вимірів:
а – зріст; б – обхват грудей; в – обхват стегон; г – обхват талії

Стандартна піктограма містить лінії горизонтальних вимірів: обхват грудей, обхват талії, обхват стегон; лінії вертикальних вимірів: зріст, внутрішня довжина ноги.

Таблиця 4

Сфера застосування стандартних контрольних вимірів тіла для позначення розмірів одягу

Вид одягу	Чоловіки, хлопчики			Жінки, дівчата		
	Контрольні виміри		Маркування на піктограмі	Контрольні виміри		Маркування на піктограмі
	ОВ	ДВ		ОВ	ДВ	
Піджак	Обхват грудей	Зріст, обхват талії	Ог-От-Р	Обхват грудей	Зріст, обхват стегон	Ог-Об-Р
Костюм	Обхват грудей	Зріст, обхват талії, довжина ноги по внутрішній поверхні*	Ог-От-Р-Дн*	Обхват грудей	Зріст, обхват стегон	Ог-Об-Р
Пальто	Обхват грудей	Зріст (діапазон)	Ог-Р	Обхват грудей	Зріст (діапазон), обхват стегон, довжина*	Ог-Об-Р-Дп*
Штани/шорти	Обхват талії	Зріст, внутрішня довжина ноги, низ штанів*	Ог-Р-Дн*-Шн*	Обхват талії	Зріст, внутрішня довжина ноги*, обхват стегон	Ог-Об-Р-Дн*
Спідниця	-	-	-	Обхват талії	Зріст, обхват стегон, довжина спідниці*	Ог-Об-Р-Дсп*
Сукня	-	-	-	Обхват грудей	Зріст, обхват стегон, обхват талії*	Ог-Об-Р-От*
Сорочка	Обхват ший або розмірний код*	Зріст, довжина руки	Ош-Р-Друк, або розмір 41*	-	-	-

Примітка: * – вимір, який можуть не використовувати для кодування.

Контрольні виміри розподіляють на основні і додаткові виміри в залежності від антропометричного виду [15]. Основний вимір – вимір тіла в сантиметрах, який повинен бути використаний в позначенні розміру одягу на піктограмі. Додатковий вимір – вимір тіла в сантиметрах, що може бути використаний додатково в позначенні розміру одягу для споживача (табл. 4) [15].

Застосування діапазону в контрольному вимірі підвищує гнучкість поєднання його значень для потреб споживача. Розмірний код ідентифікує додаткову інформацію з позначення основного виміру [16].

Оцінка результатів дослідження

Формалізація оптимізаційної задачі ідентифікації антропометричних вимірів за рівнем застосування в нормативних документах виконана на основі еквівалентності задач максимізації (v, f, Ω), і мінімізації (v, f, Ω), де f – функція, визначена на множині v , а Ω – деяка підмножина множини v . Цільова функція $f(x)$ забезпечує пошук допустимої підмножини ідентифікованих стандартних вимірів Ω в загальній множині вимірів v , наведеній в стандарті ДСТУ ISO 8559:2006.

Еквівалентність задач за умови $x \in \Omega$ перевіряється рівністю:

$$f'(x) = \lambda(x) + \mu, \quad (1)$$

де λ, μ – число кодів вимірів і $\lambda > 0$.

Задача ідентифікації антропометричних вимірів в розглянутій системі стандартів зводиться до задачі лінійного програмування в канонічній формі:

$$f = \sum_{j=1}^n v_j x_j (\min), \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Результати табл. 1 характеризують матрицю умов фіксації антропометричних вимірів А в шести нормативних документах (А=54). Строчки табл. 1 є векторами умов задачі (А1, ..., А6). Вектором обмеження задачі (формула 3) є стовпці 3-8 табл. 1. Чисельність вимірів $f = 54$ задовольняє всі потреби b_i ($i = 1, \dots, 6$). Зокрема, виміри в досліджуваних стандартах відносно базового ДСТУ ISO 8559:2006 відповідають умові лінійної мінімізації. Пари множин $41 < 54$; $31 < 41$; $10 < 41$ характеризують технічні вимоги до рівня застосування основних і додаткових контрольних вимірів. Пара множини $25 < 28$ визначає технічні умови контролю якості на манекені готового виробу. Число 28 характеризує множину в таблиці вимірів.

Аналітичний метод перевірки рівноваги плечового одягу, за умови дотримання паралельності ліній талії і низу лінії підлоги, відвісного розташування бічних швів і країв бортів, базується на визначенні трьох показників поздовжніх балансів [17]:

$$\text{нульовий} \quad \delta_0 = D_0 - D_{TC}; \quad (5)$$

$$\text{передньо-задній} \quad \delta_{пз} = [(D_1 + D_2) - (D_{TC1} + D_{ТП1})]; \quad (6)$$

$$\text{бічний} \quad \delta_{пз} = [(D_3 + D_4) - 2(D_{TC} - V_{ПР3}) - D_{П}]. \quad (7)$$

Позначення вимірів ідентифіковано з позначеннями стовпця 5 в табл. 1 для розміру 164-96-104:

D_0 – довжина до талії спинки D_{TC} (40), з креслення конструкції $D_0 = 41,2$ см;

D_1 – довжина до талії спинки від основи шиї D_{TC1} (43), з креслення конструкції $D_1 = 43,45$ см;

D_2 – довжина до талії переду перша $D_{ТП1}$ (61), з креслення конструкції $D_2 = 45,65$ см;

D_3 – дуга конструкції спинки від плечової точки до лінії талії, з креслення конструкції $D_3 = 38,5$ см;

D_4 – дуга конструкції пілочки від плечової точки до лінії талії, з креслення конструкції $D_4 = 36,5$ см;

D_{TC} – довжина спинки до талії, $D_{TC} = 40,3$ см;

D_{TC1} – довжина спинки від точки основи шиї до лінії талії (43), $D_{TC1} = 43,3$ см;

$D_{ТП1}$ – довжина пілочки від точки основи шиї до лінії талії (61), $D_{ТП1} = 43,0$ см;

$D_{П}$ – дуга через вищу точку плечового суглобу (38), $D_{П} = 31,6$ см;

$V_{ПР3}$ – висота пройми ззаду (39), $V_{ПР3} = 17,9$ см.

Після розрахунків: $\delta_0 = D_0 - D_{TC} = 41,2 - 40,3 = 0,9$ (см); $\delta_{пз} = [(43,45 + 45,05) - (43,3 + 43,0)] : 2 = 1,1$ (см); $\delta_{пз} = [(38,5 + 36,5) - 2(40,3 - 19,7) - 31,6] : 2 = 1,1$ (см). Розбіжність величин балансу – 0,2 см, що відповідає вимогам до точності вимірювань в нормативних документах з табл. 1.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

За результатами порівняльного аналізу нормативних вимог до швейних виробів масового виробництва виконана верифікація характеристик технічних умов у сфері застосування антропометричних вимірювань тіла для розробки і постановки продукції на виробництво, при розробці і перегляді технічної документації. Експериментально підтверджена лінійна оптимізація рівня застосування антропометричних вимірювань в контрольних вимірах стандартів. Подальшого розвитку потребує дослідження змінювання контрольних вимірів у шкалі розмірів технічного опису.

Література

1. Славінська А. Л. Методи і способи антропометричних досліджень для проектування одягу : [монографія] / А. Л. Славінська. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – 191 с.
2. Naveed T, Zhong Y, Hussain A, et al. Female body shape classifications and their significant impact on fabric utilization. *Fibers Polym* 2018; 19: 2642–2656.
3. Šajatović B, Ujević D and Petrak S. (2020). Body Proportions of Football Players and the Untrained Population, and the Impact on the fit of the Trousers. *TEKSTILEC*. 63. 216-224. 10.14502/Tekstilec2020.63.216-224.
4. Kolose, Stephven & Stewart, Tom & Hume, Patria & Tomkinson, Grant. (2021). Cluster size prediction for military clothing using 3D body scan data. *Applied Ergonomics*. 96. 103487. 10.1016/j.apergo.2021.103487.
5. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять: ДСТУ 3321:2003. – [Чинний від 2003-12-08]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 51 с. – (Національний стандарт України).
6. Славінська А.Л. Диференційний метод контролю якості фізико-механічних характеристик трикотажного полотна для купального костюма / А.Л. Славінська, С.А. Матюх, В.В. Мица // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2022. – № 3. – С. 199-204.
7. Wang Z, Wang J, Zeng, X, Sharma S, Xing Y, Xu S and Liu L. (2021). Prediction of garment fit level in 3D virtual environment based on artificial neural networks. *Textile Research Journal*. 91. 004051752098752. 10.1177/0040517520987520.
8. Одяг верхній платяно-блузкового асортименту. Загальні технічні умови: ДСТУ ГОСТ 25294:2005. – [Чинний від 2006-07-01]. – К.: Держстандарт України, 2006. – 14 с. – (Національний стандарт України).
9. Одяг верхній пальтово-костюмного асортименту. Загальні технічні умови: ДСТУ ГОСТ 25295:2005. – [Чинний від 2006-07-01]. – К.: Держстандарт України, 2006. – 16 с. – (Національний стандарт України).
10. Одяг. Конструювання та антропометричне вимірювання. Розміри людського тіла: ДСТУ ISO 8559:2006. – [Чинний від 2007-10-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 14 с. – (Національний стандарт України).
11. Познаки розмірів одягу. Визначення та знімання мірок: ДСТУ ISO 3635:2004. – [Чинний від 2005-04-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 6 с. – (Національний стандарт України).
12. Основні розміри людського тіла, застосовні для інженерного проектування: ДСТУ ISO 7250:2002. – [Чинний від 2003-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 26 с. – (Національний стандарт України).
13. Одяг. Познаки розмірів. Частина 2. Основні та додаткові виміри: ДСТУ EN 13402-2:2009. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2011. – 8 с. – (Національний стандарт України).
14. Одяг. Стандартна система визначення розмірів: ДСТУ ISO/TR 10652:2006. – [Чинний від 2007-10-01]. – К.: Держстандарт України, 2007. – 34 с. – (Національний стандарт України).
15. Одяг. Познаки розмірів. Частина 1. Терміни, визначення понять та вимірювання розмірів тіла: ДСТУ EN 13402-1:2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Держстандарт України, 2009. – 28 с. – (Національний стандарт України).
16. Одяг. Познаки розмірів. Частина 3. Виміри та інтервали: Вимоги ДСТУ EN 13402-3:2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 26 с. – (Національний стандарт України).
17. Единая методика конструирования одежды СЭВ (ЕМКО СЭВ). Теоретические основы. Т1. – М.: ЦНИИТЭИлегпрома, 1988. – 163 с.
18. Slavinska A, Syrotenko O, Dombrovska O and Mytsa. V. (2020). Simulation model of the morphological field of data for constructing a universal design of trousers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (103)), 52–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.192590>
19. Славінська А.Л. Функціональний аспект групування уніфікованих форм робочої документації на модель виробничого одягу / А.Л. Славінська, В.В. Мица // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2021. – № 2. – С. 254-258.

References

1. Slavinska A. L. Metody i sposoby antropometrychnykh doslidzhen dlia proektuvannia odiahu : [monohrafiia] / A. L. Slavinska. – Khmelnytskyi : KhNU, 2012. – 191 s.
2. Naveed T, Zhong Y, Hussain A, et al. Female body shape classifications and their significant impact on fabric utilization. *Fibers Polym* 2018; 19: 2642–2656.
3. Šajatović B, Ujević D and Petrak S. (2020). Body Proportions of Football Players and the Untrained Population, and the Impact on the fit of the Trousers. *TEKSTILEC*. 63. 216-224. 10.14502/Tekstilec2020.63.216-224.
4. Kolose, Stephven & Stewart, Tom & Hume, Patria & Tomkinson, Grant. (2021). Cluster size prediction for military clothing using 3D body scan data. *Applied Ergonomics*. 96. 103487. 10.1016/j.apergo.2021.103487.
5. Systema konstruktorskoj dokumentatsii. Terminy ta vyznachennia osnovnykh poniat: DSTU 3321:2003. – [Chynnyi vid 2003-12-08]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. – 51 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
6. Slavinska A.L. Dyferentsiyni metod kontroliu yakosti fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk trykotazhnogo polotna dlia kupalnoho kostioma / A.L. Slavinska, S.A. Matiukh, V.V. Mytsa // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2022. – № 3. – S. 199-204.

7. Wang Z, Wang J, Zeng, X, Sharma S, Xing Y, Xu S and Liu L. (2021). Prediction of garment fit level in 3D virtual environment based on artificial neural networks. *Textile Research Journal*. 91. 004051752098752. 10.1177/0040517520987520.
8. Odiah verkhni platiano-bluzkovoho asortymentu. Zahalni tekhnichni umovy: DSTU HOST 25294:2005. – [Chynnyi vid 2006-07-01]. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 2006. – 14 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
9. Odiah verkhni platiano-bluzkovoho asortymentu. Zahalni tekhnichni umovy: DSTU HOST 25294:2005. – [Chynnyi vid 2006-07-01]. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 2006. – 14 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
10. Odiah. Konstruiuvannya ta antropometrychne vymiriuvannya. Rozmiry liudskoho tila: DSTU ISO 8559:2006. – [Chynnyi vid 2007-10-01]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006. – 14 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
11. Poznaky rozmiriv odiahu. Vyznachennia ta znimannia mirok: DSTU ISO 3635:2004. – [Chynnyi vid 2005-04-01]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. – 6 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
12. Osnovni rozmiry liudskoho tila, zastosovni dlia inzhenerenoho proektuvannya: DSTU ISO 7250:2002. – [Chynnyi vid 2003-07-01]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2003. – 26 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
13. Odiah. Poznaky rozmiriv. Chastyna 2. Osnovni ta dodatkovyi vymiry: DSTU EN 13402-2:2009. – [Chynnyi vid 2011-01-01]. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 2011. – 8 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
14. Odiah. Standartna systema vyznachennia rozmiriv: DSTU ISO/TR 10652:2006. – [Chynnyi vid 2007-10-01]. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 2007. – 34 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
15. Odiah. Poznaky rozmiriv. Chastyna 1. Terminy, vyznachennia poniat ta vymiriuvannya rozmiriv tila: DSTU EN 13402-1:2009. – [Chynnyi vid 2011-07-01]. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 2009. – 28 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
16. Odiah. Poznaky rozmiriv. Chastyna 3. Vymiry ta intervaly: Vymohy DSTU EN 13402-3:2009. – [Chynnyi vid 2011-07-01]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2011. – 26 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
17. Edynaia metodyka konstruyovanya odezhdy SЭV (EMKO SЭV). Teoretycheskye osnovy. T1. – M.: TsNYYTЭYlehprom, 1988. – 163 s.
18. Slavinska A, Syrotenko O, Dombrovska O and Mytsa. V. (2020). Simulation model of the morphological field of data for constructing a universal design of trousers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (103)), 52–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.192590>
19. Slavinska A.L. Funktsionalnyi aspekt hrupuvannya unifikovanykh form robochoi dokumentatsii na model vyrobnychoho odiahu / A.L. Slavinska, V.V. Mytsa // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. – 2021. – № 2. – S. 254-258.

Рецензія/Peer review : 06.07.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

СТАВИЦЬКИЙ П. В.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-9139-6076>e-mail: pavlo.stavytskyi@gmail.com

ВОЙТКО В. В.

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-3329-7256>e-mail: defaktki@i.ua

МЕТОД ДЕКЛАРАТИВНОГО МЕТАПРОГРАМУВАННЯ НА ОСНОВІ ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНИХ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ

Розглянуто концепцію декларативного метапрограмування, а саме генерування програмного коду, що базується на використанні предметно-орієнтованих мов. Декларативність полягає у тому, що вхідний код, який відповідає за генерування коду за синтаксичними ознаками, є якомога ближчим до вихідного результуючого коду. В якості демонстрації методу розглянуто програмну систему для генерування коду мови програмування Starlark, що є діалектом Python. У рамках дослідження концепція декларативного метапрограмування реалізується на базі предметно-орієнтованої мови, що імітує синтаксичні конструкції мови Starlark. Розглянуто компоненти мови Starlark, реалізовані за допомогою предметно-орієнтованої мови на базі Kotlin, зокрема, інструкції присвоєння, спискові вирази, вирази конкатенації, оператор нарізання масивів, виклики функцій тощо.

Ключові слова: декларативне програмування, метапрограмування, генерування коду, предметно-орієнтована мова, Kotlin, Starlark, Python.

Pavlo STAVYTSKYI, Viktoriia VOITKO

Vinnytsia National Technical University

METHOD OF THE DECLARATIVE METAPROGRAMMING BASED ON DOMAIN-SPECIFIC PROGRAMMING LANGUAGES

A concept of declarative metaprogramming which focuses on program code generation is considered. The method is based on using domain-specific languages that are implemented by means of existing general-purpose programming languages. Since metaprogramming is based on using programs that produce other programs, the declarative approach means that the input and the output program code must be as close as possible in terms of syntax or ideally identical. In order to generate a program code, it is required to write templates that hold the exact structure of a resulting generated code but contain placeholders for specifics of concrete generated instances. Such an approach is highly useful when there is a need of generating a large number of similar program files by structure but different in details. The simplest way to define such templates would be just by constructing them from string literals by injecting the specific details using a string interpolation mechanism for example. However, such an approach does not provide type safety and compile time validation, so there is no guarantee the generated code is a correct and compilable program.

The domain-specific language, on the other hand, replicates all the syntactic constructions of the target programming language so that, the resulting generated code would be the same as code written by the programmer. Moreover, having preserved all the syntax validations by the compiler on which the domain-specific language is based. The paper considers a concrete example of a code generator for a Starlark programming language, a dialect of Python while the domain specific-language is based on Kotlin language. Using the toolset of Kotlin, such a domain-specific language replicates such Starlark constructs as variable assignments, list comprehensions, library functions, slices, etc with a required level of customizability.

Keywords: declarative programming, metaprogramming, code generation, domain-specific language, Kotlin, Starlark, Python.

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

Сучасна індустрія розробки програмного забезпечення часто опирається на генерування програмного коду для підвищення надійності програмних продуктів та пришвидшення їх розробки. Під час генерування коду для систем різного призначення необхідно використовувати потужний та надійний інструмент, що зменшить вірогідність допущення помилок на ранніх стадіях. Таким чином, інструмент повинен забезпечувати валідацію типів та синтаксичну схожість вхідного і вихідного коду.

Аналіз останніх джерел

Дослідження [1] фокусується на розробці системи Piranha, спрямованої на автоматичний рефакторинг застарілих гілок кодової бази, що пов'язані з використанням вмикачів функціоналу (feature flag). Така система використовує рішення google java format для реформатування java коду під стилі коду, що підтримуються компанією Google. Для мови Swift, наприклад, система використовує власні реформатори коду, що здебільшого фокусуються на операторах потоку керування. Недоліком складових генерування коду в такому рішенні є те, що, зазвичай, код програми, який описує генерування, значно відрізняється від результуючого згенерованого коду й ускладнює процес розробки та підтримки програм.

Cyclone [2] – це мова програмування, що базується на синтаксисі C та реалізує функціонал генерування коду на базі шаблонів. Тут пропонуються додаткові синтаксичні конструкції для побудови шаблонів. Недоліком є те, що функціонал генерування коду доступний лише для мови Cyclone, що унеможливило використання такого рішення для робочих сценаріїв, де використовуються розповсюджені мови програмування.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є удосконалення підходів генерування коду мов програмування шляхом застосування концепції декларативного метапрограмування з використанням шаблонів. Дане дослідження фокусується на реалізації, що використовує предметно-орієнтовану мову на основі існуючої мови програмування загального призначення.

Виклад основного матеріалу

При роботі з системами генерування програмний код можна розділити на дві складові:

- вхідний код – програмний код, вихідними даними якого є інший програмний код, який необхідно згенерувати;
- вихідний код – програмний код, який згенеровано в результаті виконання вхідного коду.

Запропоновано підхід декларативного метапрограмування для існуючих мов програмування, що, на відміну від існуючих рішень, забезпечує ідентичність вхідного та вихідного коду при створенні шаблонів генерування коду зі збереженням валідації типів на стадії компіляції. Зокрема, запропонований метод фокусується на використанні предметно-орієнтованих мов як базису для реалізації декларативного метапрограмування.

Розглянемо програмну систему для генерації коду мови програмування Starlark [3], що є діалектом мови Python та використовується як мова написання скриптів для системи збірки проєктів Bazel [4]. Вхідний код такої системи написано за допомогою мови програмування загального призначення Kotlin. Завдяки особливостям синтаксису цієї мови доступний потужний інструментарій для створення предметно-орієнтованих мов програмування (ПОМ).

Дослідження фокусується на розробці ПОМ на базі синтаксичних конструкцій мови програмування Kotlin, що реалізує підхід декларативного метапрограмування для генерування коду мови Starlark.

Особливість ПОМ полягає у відтворенні синтаксичних конструкцій мови Starlark таким засобами мови Kotlin, як: перевантаження операторів; лямбда вирази; лямбда-вирази з отримувачами; делегування властивостей класів; функції, що відтворюють стандартну бібліотеку Starlark та Bazel тощо. На рисунку 1 наведено приклад такої ПОМ.

```
// Kotlin
fun file_template(
    appName: String,
    srcFiles: List<String>,
    mainClass: String

) = BUILD.bazel {
    load("@rules_java//java:defs.bzl", "java_binary")

    java_binary(
        name = appName,
        srcs = list["MyClass.java"] `+` srcFiles,
        main_class = mainClass,
    )
}
```

Рис. 1. Приклад шаблону, що використовує Starlark ПОМ на базі мови Kotlin

Генерування коду відбувається за допомогою шаблонів. Для створення шаблону необхідно декларувати звичайну функцію та обернути її тіло за допомогою BUILD.bazel функції, що відповідає за створення однойменного файлу та є вхідною точкою в контекст предметно-орієнтованої мови для генерування Starlark коду. Створена функція називається шаблоном, адже вона реалізує однойменний шаблон проєктування [5], дозволяючи декларувати загальний скелет згенерованого файлу, залишаючи місця для вставлення аргументів, притаманних конкретному згенерованому файлу. Використання шаблонів дозволяє автоматизувати випадки, де необхідна генерація великої кількості одноманітних файлів, загальний вміст яких є базовим з введенням конкретних деталей.

У результаті виконання такої програми з конкретними аргументами буде згенеровано Starlark код, як зображено на рисунку 2.

Варто зазначити, що код на рисунку 2 згенеровано у відформатованому вигляді зі збереженням необхідних відступів та пробілів. Тому згенерований код є легко читабельним та зрозумілим. Такий результат досягається шляхом генерування абстрактного синтаксичного дерева (АСД) [6] Starlark коду, що необхідно згенерувати.

```
# Starlark
load("@rules_java//java:defs.bzl", "java_binary")

java_binary(
    name = "myApp",
    srcs = ["MyClass.java"] + [
        "Class1.java",
        "Class2.java"
    ],
    main_class = "Main",
)
```

Рис. 2. Приклад згенерованого Starlark коду в результаті використання шаблону на базі ПОМ

Структура даних групує усі синтаксичні компоненти коду у деревовидну структуру, зручну для використання при форматуванні та генеруванні коду. Для наведеного прикладу під час виконання Kotlin коду, що використовує Starlark ПОМ, отримуємо абстрактне дерево, зображене на рисунку 3.

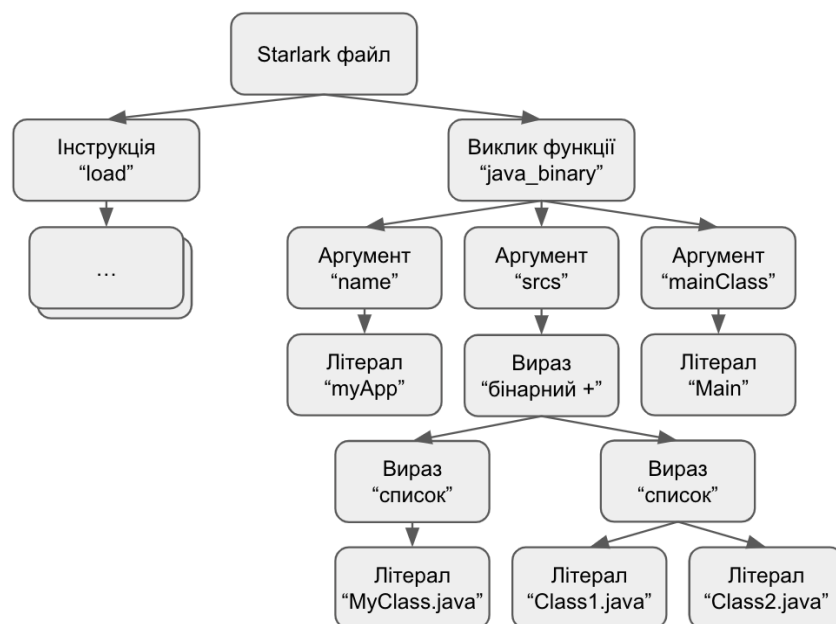


Рис. 3. Абстрактне синтаксичне дерево, побудоване в результаті виконання Kotlin коду на базі Starlark ПОМ

Результатом роботи ПОМ є абстрактне синтаксичне дерево коду мови програмування Starlark, концептуально ідентичне до оригінального АСД, що будується інтерпретаторами мови Starlark.

Існує три розповсюджені інтерпретатори мови Starlark, написані мовами Java (у складі кодової бази системи збірки проектів Bazel), Go та Rust.

З точки зору інтерпретатора Starlark розроблений ПОМ замінює собою перші два кроки інтерпретації коду – лексичний і синтаксичний аналіз. Тому АСД, побудоване за допомогою Starlark ПОМ, може бути використане для будь-яких цілей, включаючи подальші кроки інтерпретації, такі як семантичний аналіз. Проте основною областю застосування такого рішення є генерування форматowanego коду. Модель загального процесу генерації коду зображена на рисунку 4.

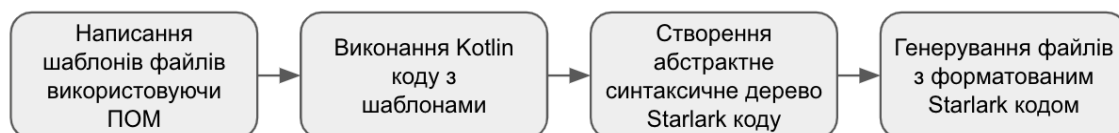


Рис. 4. Модель процесу генерування Starlark коду з використанням Starlark ПОМ на базі мови Kotlin

Синтаксичні можливості ПОМ мають обмеження, які визначаються реалізацією за допомогою синтаксичних конструкцій мови Kotlin. Тому ПОМ з огляду на синтаксис не є повністю ідентичною з мовою Starlark. Проте мова Kotlin серед усіх інших мов програмування загального призначення пропонує найбільшу ступінь гнучкості, що дозволяє досягти якомога ближчої схожості ПОМ та Starlark.

Далі розглянемо синтаксичні конструкції мови програмування Starlark, що відтворені у ПОМ на базі мови Kotlin.

Для реалізації інструкції присвоєння значення змінній у ПОМ використано оператор `by` мови Kotlin,

а саме його перевантаження, що дозволяє реалізувати власний функціонал. На рисунку 5 зображено приклад такої операції.

```
// Kotlin
val LIST by list["item1", "item2"]
```

```
// Згенерований Starlark код
LIST = ["item1", "item2"]
```

Рис. 5. Реалізація інструкції присвоєння в ПОМ

Варто зазначити, що інструкція присвоєння зберігає типізацію в ПОМ. Таким чином, якщо далі така змінна використовуватиметься в ПОМ, компілятор Kotlin провалідує коректність ПОМ відповідно до правил типізації мови Starlark. Такий підхід дозволяє запобігти низці помилок у вихідному коді на ранніх етапах роботи. Серед основних типів, які підтримуються, виділимо: рядки, числа, булеві значення, словники та списки.

Іншим важливим компонентом мови Starlark є спискові вирази (list comprehensions) [7], що дозволяють зручно створювати колекції елементів. Приклад використання такого виразу в ПОМ наведено на рисунку 6.

```
// Kotlin
val LIST_1 by list["item1", "item2"]
val LIST_2 by ("i" `in` LIST_1 take { i -> i })
```

```
// Згенерований Starlark код
LIST_1 = ["item1", "item2"]
LIST_2 = [i for i in LIST_1]
```

Рис. 6. Реалізація спискових виразів у ПОМ

Важливим у такій конструкції є збереження виразом типізації. *LIST_1* є змінною типу “список рядків”, а тому при інтегруванні змінна *i* на рівні Kotlin та ПОМ матиме тип “рядок”. Такий підхід забезпечує чіткий рівень валідації з боку компілятора мови Kotlin.

Часто важливо не лише передати дані у вигляді змінної або значення, а й скомпонувати значення, користуючись кількома джерелами даних, наприклад, побудувати список шляхом складання декількох інших списків. Для таких випадків мова Starlark реалізує вирази конкатенації, що необхідно також відтворити в розроблюваній ПОМ. Для цього необхідно реалізувати функцію з ім'ям ‘+’.

```
// Kotlin
val LIST_1 by list["item1", "item2"]
val LIST_2 by ("i" `in` LIST_1 take { it `+` "_modified" }) `+` LIST_1
```

```
// Приклад помилки компіляції.
// Очікується List<StringType>, але отримано List<Any>.
val LIST_3: List<StringType> by LIST_2 `+` list[1, 2, 3]
```

```
// Згенерований Starlark код
LIST_1 = ["item1", "item2"]
LIST_2 = [i + "_modified" for i in LIST_1] + LIST_1
```

Рис. 7. Реалізація виразів конкатенації в ПОМ

Варто зазначити, що в такому випадку в ПОМ використовується не оператор “плюс”, а звичайна функція з таким же ім'ям, індикатором чого є зворотні галочки, в які огорнута назва функції. Використання звичайного оператора “плюс” у ПОМ було б не достатньо, оскільки така операція виконувалася б на рівні Kotlin, а вихідний Starlark результат містив би вже результуючий список. Проте необхідною є можливість саме генерування виразу конкатенації на рівні вихідного коду, для чого використовується функція ‘+’. На рисунку 7 продемонстровано приклад реалізації такого виразу.

З рисунку 7 можна побачити, що вираз конкатенації зберігає типізованість, дозволяючи валідувати коректність вхідного коду на рівні Kotlin.

Аналогічно оператор нарізання масивів (array slicing) мови Starlark реалізується в ПОМ за допомогою оператора діапазону (range operator) з мови Kotlin. Приклад нарізання масивів наведено на рисунку 8.

```
// Kotlin
"abc.kt"[0..-3]

// Згенерований Starlark код
"abc.kt"[0:-3]
```

Рис. 8. Реалізація оператора нарізання масивів у ПОМ

Основною синтаксичною одиницею в мові Starlark та системі Bazel є інструкція виклику функцій або декларування таргетів (build target), що в результаті дозволяє компілювати та виконувати відповідний програмний код за допомогою Bazel.

ПОМ містить стандартну бібліотеку розповсюджених функцій в Starlark та Bazel. Декларація їх виклику виконується звичайним викликом таких функцій, що продемонстровано на рисунку 9.

```
// Kotlin
android_binary(
    name = "app",
    srcs = list(...),
    manifest_values = dict {
        "minSdkVersion" to "21"
        "targetSdkVersion" to "29"
    }
)
```

Рис. 9. Приклад виклику функцій в ПОМ

Функції, що використовуються у Starlark та Bazel, можуть бути оновлені розробниками в процесі їх життєвого циклу. Існує можливість опинитися в ситуації, коли функції ПОМ не міститимуть усіх необхідних аргументів для використання. Для забезпечення гнучкості в таких випадках ПОМ реалізує процес частково динамічного виклику функцій. Такий підхід полягає в тому, що під час генерування коду користувач має змогу додавати будь-які нові аргументи в існуючі функції. Для цього необхідно викликати функцію з допомогою фігурних дужок замість круглих, декларувати назву необхідного аргумента за допомогою звичайного рядка та використати функцію-оператор “присвоєння” з ПОМ, оточену зворотними галочками `=`, як продемонстровано на рисунку 10.

```
// Kotlin
android_binary {
    name = "app"
    srcs = list(...)
    "manifest_values" `=` {
        "minSdkVersion" to "21"
        "targetSdkVersion" to "29"
    }
}
```

Рис. 10. Приклад частково динамічного виклику функцій в ПОМ з власними додатковими аргументами

Аналогічно до попереднього прикладу ПОМ надає можливість декларування викликів власних функцій, що не присутні в стандартній бібліотеці, як наведено на рисунку 11.

У цьому випадку сценарій схожий до попереднього. Назва функції, яку необхідно викликати, декларується в якості рядка. У разі використання в ній фігурних дужок викликається перевантажений оператор виклику функцій в Kotlin, що працює як розширення до типу String та є декларованим на вищому рівні. Сигнатура такої функції продемонстрована на рисунку 12.

```
// Kotlin
"android_binary" {
    "name" `=` "app"
    "srcs" `=` list[...]
    "manifest_values" `=` {
        "minSdkVersion" to "21"
        "targetSdkVersion" to "29"
    }
}
```

Рис. 11. Приклад динамічного виклику додаткових власних функцій у ПОМ

```
operator fun String.invoke(body: FunctionCallContext.() -> Unit)
```

Рис. 12. Сигнатура Kotlin функції, що декларує динамічний виклик Starlark функцій у ПОМ

Усі розглянуті компоненти ПОМ можуть бути поєднані для генерування більш складних прикладів коду Starlark, як наведено на рисунку 13.

```
// Kotlin
val KOTLIN_SOURCE_FILES by list [...]

"file" `in` KOTLIN_SOURCE_FILES take { file ->
    genrule(
        name = "modify_" `+` file[0..-3],
        srcs = list[file],
        outs = list[file[0..-3] `+` "_modified.kt"],
        cmd = "..."
    )
}
```

```
// Згенерований Starlark код
KOTLIN_SOURCE_FILES = [...]

[
    genrule(
        name = "modify" + file[0:-3],
        srcs = [file],
        outs = [file[0:-3] + "_modified.kt"],
        cmd = "...",
    )
    for file in KOTLIN_SOURCE_FILES
]
```

Рис. 13. Приклад динамічного виклику додаткових власних функцій у ПОМ

Запропонований метод декларативного метапрограмування набув практичного застосування в розробленій системі Airin для автоматичного мігрування програмних продуктів на систему збірки проєктів Bazel [8].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Предметно-орієнтовані мови, створені на базі мов програмування загального призначення, можуть стати інструментом для реалізації концепції декларативного метапрограмування, дозволяючи досягти якомога більшої схожості вхідного та вихідного коду, зберігаючи валідацію типів. Саме таким прикладом є ПОМ на базі мови Kotlin, що дозволяє імітувати синтаксичні конструкції мови Starlark для генерування відповідного вихідного коду.

Література

1. Ramanathan M., K., Clapp, L., Barik, R., Sridharan M. (2020). Piranha: Reducing Feature Flag Debt at Uber. <https://manu.sridharan.net/files/ICSE20-SEIP-Piranha.pdf>
2. SMITH, F., GROSSMAN, D., MORRISETT, G., HORNOF, L., & JIM, T. (2003). Compiling for template-based run-time code generation. *Journal of Functional Programming*, 13(3), 677-708. doi:10.1017/S095679680200463X
3. Starlark Language. <https://bazel.build/rules/language>
4. Bazel. <https://bazel.build/>
5. Gamma, E., Helm, R. and Johnson, R., 1994. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison Wesley.
6. Aho, A. V. (2007). *Compilers: Principles, techniques, and tools*. Pearson Addison-Wesley.
7. The Python Language Reference. <https://docs.python.org/3/reference/>
8. Stavytskyi P. (2021). Automated migration from Gradle to Bazel with Airin. BazelCon 2021, Google. <https://youtu.be/dz-CFEwJuko>

References

1. Ramanathan M., K., Clapp, L., Barik, R., Sridharan M. (2020). Piranha: Reducing Feature Flag Debt at Uber. <https://manu.sridharan.net/files/ICSE20-SEIP-Piranha.pdf>
2. SMITH, F., GROSSMAN, D., MORRISETT, G., HORNOF, L., & JIM, T. (2003). Compiling for template-based run-time code generation. *Journal of Functional Programming*, 13(3), 677-708. doi:10.1017/S095679680200463X
3. Starlark Language. <https://bazel.build/rules/language>
4. Bazel. <https://bazel.build/>
5. Gamma, E., Helm, R. and Johnson, R., 1994. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison Wesley.
6. Aho, A. V. (2007). *Compilers: Principles, techniques, and tools*. Pearson Addison-Wesley.
7. The Python Language Reference. <https://docs.python.org/3/reference/>
8. Stavytskyi P. (2021). Automated migration from Gradle to Bazel with Airin. BazelCon 2021, Google. <https://youtu.be/dz-CFEwJuko>

Рецензія/Peer review : 12.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

СУКМАНОВ В.О.

Полтавський державний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0003-1248-4068>e-mail: sukmanovvaleri@gmail.com

КОВАЛЬЧУК О. В.

Державний біотехнологічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-1762-2434>e-mail: olena.vs.kovalchuk@gmail.com

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СУБКРИТИЧНОЇ ВОДНОЇ ЕКСТРАКЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИЛУЧЕННЯ БІЛКУ ІЗ СОЄВОГО ШРОТУ

Робота присвячена дослідженню процесу екстрагування субкритичною водою білку з соєвого шроту. Метою дослідження є встановлення впливу параметрів (температура: 120...160°C, тривалість екстрагування: (5...15 хв), гідромодуль: 1:15...25) процесу екстрагування субкритичною водою на вміст білку у сухій речовині екстракту соєвого шроту та їх раціональні значення.

Ключові слова: екстрагування; субкритична вода; біологічно активні речовини; білок; соєвий шрот.

Valeriy SUKMANOV

Poltava State Agrarian University

Olena KOVALCHUK

State Biotechnological University

INFLUENCE OF SUBCRITICAL WATER EXTRACTION PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF PROTEIN RECOVERY FROM SOYBEAN MEAL

This work is devoted to the study of the extraction process of protein from soybean meal with subcritical water. The aim of the study is to determine the influence of parameters (temperature: 120...160°C, extraction duration: (5...15 min), hydromodulus: 1:15...25) of the subcritical water extraction process on the protein content in the dry matter of soybean meal extract and their rational values. To determine the rational parameters of the extraction process, an empirical research method was applied using an orthogonal compositional plan of the 2-nd order for a fractional-factorial experiment 3^{3-1} . Samples of extracts were obtained on a laboratory setup based on a high pressure reactor. In the obtained samples, the total protein content was determined by the method of catalytic oxidation with chemiluminescent detection. On the basis of the obtained results, a quadratic interpolation model was constructed that relates the total protein content in the dry matter of the extract with the extraction parameters. The analysis of the constructed model made it possible to establish the optimal extraction parameters: temperature 141°C, extraction duration 7,5 min. The yield of protein to the dry matter of the extract at optimal values of temperature and duration of the process monotonically increases with an increase in the hydromodulus and reaches a maximum 48,4% at the hydromodulus 1:25. The results obtained can be used to improve the technology for obtaining soy protein concentrate and isolate using the subcritical water extraction method. Due to the environmental friendliness of this extraction technology, the resulting extracts can be directly used to improve the nutritional value of various food products.

Keywords: extraction; subcritical water; biologically active substances; protein; soybean meal.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Важливим побічним продуктом виробництва соєвої олії є соєвий шрот, що являє собою позбавлені оболонки подрібнені та знежирені ядра соєвих бобів. Соєвий шрот містить велику кількість цінного білку, що зумовлює його використання у якості концентрованих кормів та сировини для виробництва соєвих білкових продуктів, таких як концентрат та ізолят соєвого білка.

Соєві білкові продукти мають широке застосування в різних галузях харчової промисловості для підвищення харчової цінності різних продуктів, тому підвищення ефективності процесу вилучення білку з соєвого шроту, а також інших побічних продуктів переробки сої, має важливе прикладне значення для харчової промисловості [1].

Білки сої переважно представлені водорозчинними глобулінами та альбумінами. Це зумовлює широке застосування водної екстракції при виробництві соєвих білкових продуктів.

Перспективним сучасним варіантом водної екстракції є субкритична екстракція, що передбачає проведення екстрагування за підвищеної (100...374°C) температури та надлишкового тиску (до 22,4 МПа). У субкритичному стані знижується в'язкість води та зростає коефіцієнт дифузії, разом зі збереженням її високої розчинюючої здатності [2]. За умови підвищення температури та тиску до субкритичних умов, знижується діелектрична константа води, полярність, в'язкість та збільшується дифузія, що призводить до більшої розчинності неполярних речовин, збільшення масопередачі та посилення властивостей води, як розчинника [3]. Поєднання таких властивостей робить воду в субкритичному стані відмінним екстрагентом, що поєднує у собі екологічність та низьку вартість [4].

Аналіз досліджень та публікацій

Субкритичному водному (СКВ) екстрагуванню біологічно активних речовин з рослинної сировини різного типу присвячено численні наукові праці із узагальненням яких можна ознайомитись в оглядах [3], [4]. У значній кількості робіт показана ефективність СКВ екстрагування поліфенольних сполук з рослинної сировини різного типу: із яблучних вичавок [5], знежирених апельсинових шкірок [2], виноградних вичавок [6], з лушпиння цибулі [7], з соєвої окари [8], [9], [10]. При цьому оптимальна температура екстрагування змінювалась від $100...110^{\circ}\text{C}$ – для виноградних вичавок, до 220°C – для соєвої окари.

Поліфеноли володіють значною стійкістю при високих температурах [11], однак білки за високих температур можуть деградувати через гідроліз та окислення в присутності вуглеводів. Гідроліз білкових молекул у ході СКВ екстрагування може бути ефективним альтернативним способом отримання цінних амінокислот із відходів аграрного виробництва [12], зокрема з рисових висівок [13], пір'я [14] та панцирів крабів [15]. У [16] встановлено, що СКВ обробка зієвого білку в діапазоні температур $110...170^{\circ}\text{C}$ здатна значно підвищити розчинність та здатність до піноутворення. Підвищені температури також сприяють руйнуванню інгібіторів протеїназ, що підвищує біодоступність рослинного білку [17]. Однак окислення білків за високих температур може викликати питання доцільності застосування СКВ екстрагування.

Промислові методи екстрагування та обробки білку не передбачають застосування високих температур процесу, які можуть погіршити розчинність через агрегацію білкових молекул, як це встановлено у [18] для соєвої окари (при 80°C) та у [19] при СКВ обробці яєчних білків (на діапазоні $90...120^{\circ}\text{C}$). Незважаючи на це СКВ екстрагуванню білку з рослинної сировини різного виду присвячено велику кількість наукових досліджень, які показують високу ефективність цього методу екстракції при значно вищих температурах. Зокрема роботі [20] при дослідженні СКВ екстрагування знежирених рисових висівок максимальний вихід білку отримано при температурі 200°C та тривалості 30 хв. У дослідженні [21] засвідчено подібні результати для соєвої окари, однак за подальшого підвищення температури тривалість процесу мала зменшуватись. Зокрема при 260°C максимум вмісту білку в екстракті отримано за тривалості ≈ 1 хв і знижувався при > 1 хв.

Дослідженню СКВ екстрагування білку із соєвого шроту присвячено лише декілька робіт. У [22], зокрема, досліджено СКВ екстрагування соєвого шроту на діапазонах зміни параметрів: $100...250^{\circ}\text{C}$, $10...30$ хв, $1:2,5...5$. Максимальний вихід білку отримано за параметрів: 200°C , 30 хв, $1:5$. У більш пізній роботі [23] при дослідженні СКВ екстрагування шроту на тому ж діапазоні температур максимальний вихід отримано за температури 225°C , але за тривалості процесу 5 хв. Водночас наведені фото екстрактів у даному дослідженні показують, що за температури $>175^{\circ}\text{C}$ починається інтенсивне окислення білків в результаті реакції Майяра та / або карамелізації, що вказує на недоцільність екстрагування білку за вищих температур.

Більш широкий діапазон зміни параметрів СКВ екстрагування соєвого шроту досліджено у [24]. На діапазоні зміни температури – $66...234^{\circ}\text{C}$ та гідромодуля – $1:3,3...11,7$ отримано постійний ріст виходу білка. Однак побудована лінійна модель не дає можливості встановити раціональні параметри процесу екстрагування білка, хоча авторами відмічено як раціональні параметри: $\approx 150^{\circ}\text{C}$, $1:11,7$.

Проведений огляд показує інтенсивну наукову розробку СКВ екстрагування, як перспективного високоефективного методу вилучення біологічно активних речовин, зокрема білкових, із рослинної сировини різного походження. Однак мало дослідженим залишається питання впливу параметрів процесу СКВ екстрагування на ефективність вилучення БАР з соєвого шроту та їх раціональні значення, що є актуальним і важливим для харчової промисловості.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: встановлення залежності вмісту білку в сухих екстрактах соєвого шроту від параметрів процесу екстрагування субкритичною водою (температура: $120...160^{\circ}\text{C}$, тривалість екстрагування: $(5...15)$ хв, гідромодуль: $1:15...25$) та їх раціональні значення.

Виклад основного матеріалу

Матеріали та обладнання. У дослідженні використовували соєвий шрот виробництва Глобинського переробного заводу. Екстрагент – дистильована вода. Екстрагування проводили на реакторі високого тиску РВД-2-500 (НПП «УКРОРГСИНТЕЗ», м. Київ, Україна). Фільтрацію здійснювали на пристрої для вакуумного фільтрування (насос Камовського, кобба Бунзена, фільтр-папір марки Ф (чорна стрічка)). Видалення вологи з екстракту виконували із використанням сушильної шафи Memmert UF 30. Вміст білку у екстракті визначали методом каталітичного окиснення з хемілюмінесцентним детектуванням із використанням лабораторного аналізатора TOC-L CSH з приставкою TNM-L для визначення загального органічного вуглецю та азоту.

Вплив параметрів процесу СКВ екстрагування соєвого шроту на вихід білку та їх раціональні значення досліджували на основі даних ряду експериментів за різних комбінацій параметрів та властивостей екстракційної суміші. У якості досліджуваних параметрів (факторів) процесу СКВ екстрагування білку з соєвого шроту були обрані: температура процесу (T), тривалість екстрагування (t) та гідромодуль ($1:C_w$)

екстракційної суміші. Для емпіричної залежності виходу білку до сухого екстракту соєового шроту від обраних параметрів СКВ екстрагування на прийнятих діапазонах зміни параметрів була прийнята квадратична модель:

$$Y = b_{n0} + b_{n1}T + b_{n2}t + b_{n3}C_w + b_{n4}T^2 + b_{n5}t^2 + b_{n6}C_w^2 + b_{n7}Tt, \quad (1)$$

де b_{n0}, \dots, b_{n7} – шукані коефіцієнти моделі для натуральних значень факторів.

Прийнята модель залежності містить 8 незалежних коефіцієнтів, що враховують основні лінійні та квадратичні ефекти впливу факторів і один парний ефект взаємодії температури та тривалості процесу СКВ екстрагування. У нормованому та кодованому вигляді рівняння моделі (1) має наступний вигляд:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1^2 + b_5X_2^2 + b_6X_3^2 + b_7X_1X_2, \quad (2)$$

де b_0, \dots, b_7 – шукані коефіцієнти моделі для нормованих і кодованих значень факторів.

Для визначення коефіцієнтів у рівнянні прийнятої моделі впливу досліджуваних параметрів процесу на вміст білку у сухих екстрактах соєового шроту було розроблено ортогональний композиційний план 2-го порядку для дробнофакторного експерименту 3^{3-1} (табл. 1).

Таблиця 1

Фактори у нормованому й натуральному вигляді та відповідні результати дослідження

№ досл.	Фактори процесу					
	у кодованому та нормованому вигляді			в натуральному вигляді		
	X_1	X_2	X_3	$T, ^\circ C$	$t, хв$	C_w^*
1	-1	-1	-1	120	5	15
2	-1	0	+1	120	10	25
3	-1	+1	0	120	15	20
4	0	-1	+1	140	5	25
5	0	0	0	140	10	20
6	0	+1	-1	140	15	15
7	+1	-1	0	160	5	20
8	+1	0	-1	160	10	15
9	+1	+1	+1	160	15	25

* C_w – частка екстрагенту у зразку (15, 20, 25 частин на 1 частину шроту)

Методика проведення експерименту. У ході підготовки дослідних зразків сировину СШ подрібнювали механічним методом і відділяли фракцію 0,5...1 мм, що у подальшому використовувалась для отримання екстрактів. Наважки відібраної фракції СШ заливали гарячою дистильованою водою ($\approx 95^\circ C$) у підготовленій лабораторній тарі, перемішували до рівномірного змочування частинок і відразу встановлювали до камери реактору.

У процесі екстрагування у реакторі підтримувався тиск 10 ± 1 МПа і здійснювалось постійне перемішування екстракційної суміші магнітною мішалкою (700 хв^{-1}). Температуру екстракційної суміші у реакторі доводили до цільового значення T і витримували, протягом заданого часу t (табл. 1), після чого термоблок вимикався і камера реактора охолоджувалась природнім чином до $\approx 90^\circ C$. З екстракційної суміші, вилученої з реактору, негайно відділяли екстракт на пристрої для вакуумної фільтрації, який природнім чином охолоджувався до кімнатної температури. Фото отриманих зразків рідких екстрактів наведено на рис. 1.



Рис. 1. Рідкі екстракти соєового шроту

Колір отриманих екстрактів варіювався від кремового, для зразків отриманих за температури $120^\circ C$, до темно-коричневого – за температури $160^\circ C$. Останні, окрім темного кольору, мали відчутний запах горілого, що свідчить про значну інтенсифікацію реакцій Майяра. Інтенсивність зазначених факторів збільшувалась зі збільшенням тривалості процесу. Такі дані свідчать про недоцільність збільшення температури екстрагування понад $140^\circ C$, через значне термічне пошкодження білків та накопичення шкідливих продуктів реакції Майяра.

Необхідно відмітити, що у роботі [23] зазначені значно вищі температури екстрагування (до 250°C), та менш інтенсивний колір екстрактів аж до температури 200°C . Такі результати можуть бути пояснені меншою тривалістю процесу екстрагування та різким охолодженням реактору після витримки екстракційної суміші при заданій температурі екстрагування. Порівняння зазначених якісних факторів вказує значний вплив тривалості процесу, включаючи і тривалість охолодження екстракційної суміші, на інтенсивність окислення білків у процесі СКВ екстрагування. При цьому концентрація проміжних продуктів реакції Майяра у екстракті СШ може бути окремим фактором для оптимізації процесу екстрагування, який суттєво знизить раціональну, з точки зору якості отриманого екстракту, температуру та тривалість СКВ екстрагування.

Отримані рідкі екстракти зберігались у замороженому вигляді до проведення всього обсягу експериментів згідно прийнятого плану. У подальшому з рідких екстрактів видаляли вологу в сушильній шафі Memmert UF 30 за температури 105°C , протягом 36 годин, до отримання сухого залишку постійної маси. Залишковий вміст води у отриманих сухих екстрактах наведено у табл. 2. Отриманий сухий екстракт розмелювали до тонкого порошку (рис. 2) для зберігання та подальшого хімічного аналізу.



Рис. 2. Сухі екстракти соєвого шроту

Методика визначення вмісту білку. Отримані сухі екстракти соєвого шроту аналізували на вміст білку в перерахунку на загальний органічний азот. Вміст загального азоту визначали методом каталітичного окиснення з хемілюмінесцентним детектуванням відповідно до вимог [25].

У ході підготовки до проведення аналізу готували випробуваний розчин досліджуваного сухого екстракту соєвого шроту та 3-и розчини порівняння.

Для приготування випробовуваного розчину, $100,0\text{мг}$ сухого екстракту поміщали у термостійку мірну колбу місткістю 100мл та обережно суспендували у $5,0\text{мл}$ сірчаної кислоти (так, щоб часточки екстракту були покриті сірчаною кислотою та не прилипали до стінок колби вище рівня сірчаної кислоти). Колбу разом з вмістом нагрівали на киплячій водяній бані протягом 15хв , після чого до вмісту колби обережно, по краплям додавали концентрований розчин перексиду водню до розчинення частинок екстракту та знебарвлення одержаного розчину. У подальшому розчин охолоджували і обережно змішували з 60мл води, знову охолоджували і доводили об'єм розчину до позначки водою та перемішували.

У якості розчинів порівняння використовували розчини кофеїну різної концентрації із відомим вмістом азоту. Для їх приготування розраховану масу кофеїну (розчин 1 – $43,3\text{мг}$, розчин 2 – $86,7\text{мг}$, розчин 3 – $173,3\text{мг}$), висушеного при температурі 105°C протягом 1год , поміщали у мірну колбу місткістю 500мл і розчиняли у 300мл води, доводили до позначки тим самим розчинником і перемішували. Концентрація азоту (C_N) у приготованих розчинах порівняння: $C_N = 26,52\text{мг/л}$; $51,65\text{мг/л}$; $100,1\text{мг/л}$, відповідно.

Визначення вмісту загального азоту проводили на аналізаторі визначення загального органічного вуглецю з приставкою для визначення загального азоту з каталітичним окисненням і хемілюмінесцентним детектуванням.

У ході аналізу розчини порівняння та випробовуваний розчин по 50мкл інжектуються до вимірювальної комірки однаково кількість разів ($n=8$), де проходить вимірювання електропровідності вихідного розчину (випробовуваного, чи розчину порівняння) та розчину після окиснення під дією жорсткого ультрафіолету. Зміна величини вимірюваного аналізатором сигналу (у мВ) у часі формує графіки у вигляді піків, вигляд яких для розчинів порівняння наведено на рис. 3.

Аналізатор у автоматичному режимі визначає площі піків графіків для кожної інжекції й розраховує їх середнє значення $S_{gr.m}$. При цьому визначається відносне стандартне відхилення (RSD), яке для $n=8$ має бути $RSD \leq 1,69\%$. Для кожного зразка екстракту соєвого шроту аналіз проводили у двох повторях. Середні значення площ $S_{gr.m,i}$ для двох повторів вимірювання випробовуваних розчинів екстракту соєвого шроту наведені у табл. 2.

На основі значень $S_{gr.m}$ та C_N для розчинів порівняння будується стандартна крива, як лінійна регресія їх залежності (рис. 4):

$$C_N = 0,1554352653S_{gr.m} - 2,101182891. \quad (3)$$

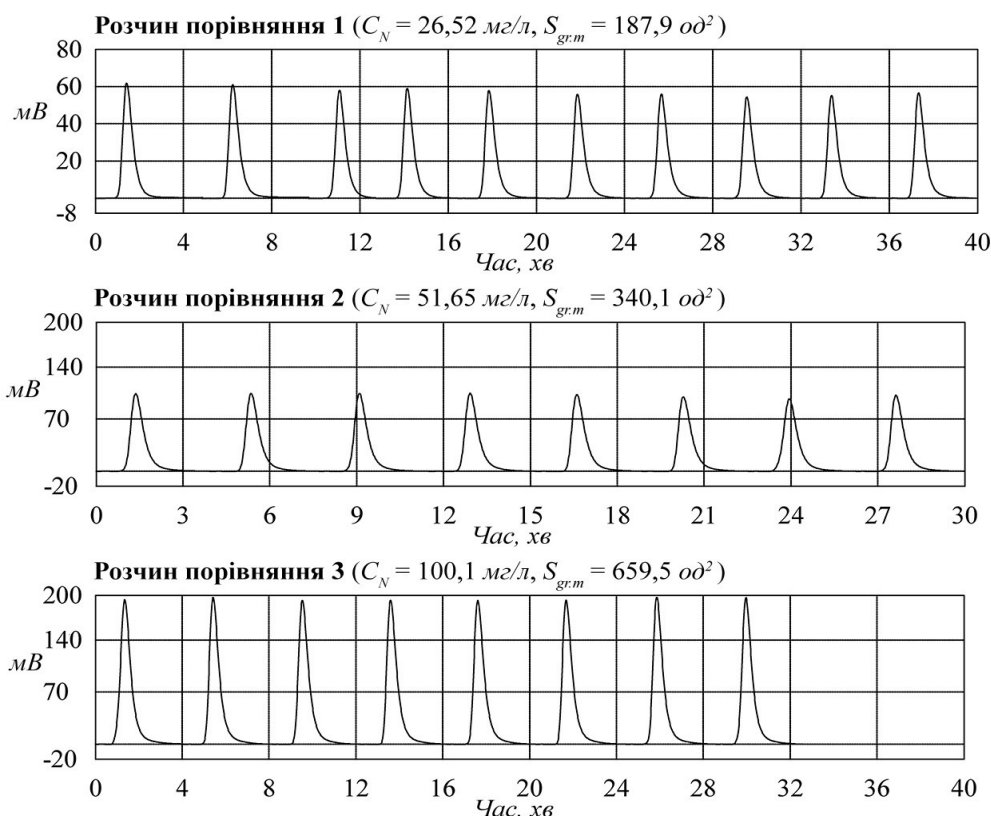


Рис. 3. Результати аналізу розчинів порівняння

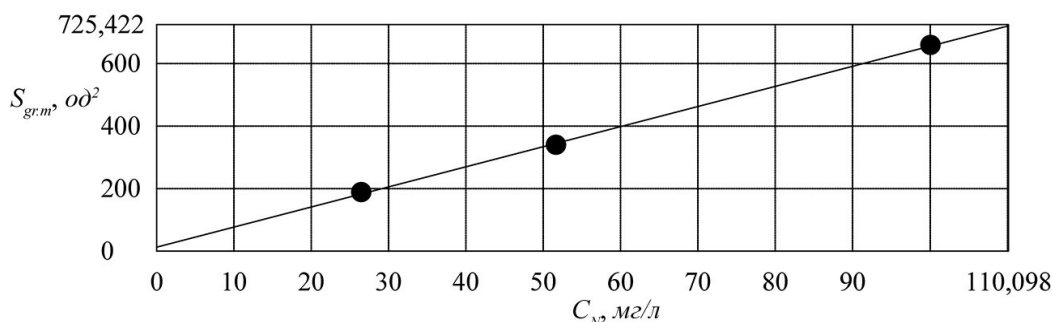


Рис. 4. Стандартна крива залежності площі графіку від концентрації азоту $S_{gr.m}(C_N)$

Із використанням стандартної кривої для одержаних значень $S_{gr.m,i}$ випробуваних розчинів зразків екстракту соєвого шроту, отримані значення концентрації азоту $C_{N,i,j}$ у них (табл. 2).

За середніми, в двох повторях, значеннями концентрації азоту ($C_{N,i}$) визначали концентрацію білку (Y_i) у зразках екстрактів соєвого шроту:

$$Y_i = k_p \frac{1000C_{N,i}}{m_i(100 - W_i)}, \%, \quad (4)$$

де m_i – маса наважки сухого екстракту соєвого шроту, мг; W_i – вміст води у наважці, %; k_p – коефіцієнт перерахунку вмісту азоту на білок (для шротів бобових $k_p = 6,25$ згідно ДСТУ 7169:2010).

Отримані значення концентрації білку в дослідних зразках екстрактів соєвого шроту наведені у табл. 2.

Результати аналізу показують відносно невелику концентрацію білку у отриманих екстрактах соєвого шроту порівняно з ізолятом соєвого білка. Однак необхідно відмітити, що значна частина білку могла бути втрачена на етапі фільтрування екстракту від залишків шроту, оскільки для цієї процедури був застосований фільтр-папір марки Ф (чорна стрічка). Значна частина білку могла не пройти через тонкі пори фільтрувального паперу. Свідченням цьому є випадання білку в отриманих екстрактах у вигляді гелю протягом декількох діб після приготування. Також важливо відмітити на схожі за значенням концентрації білку результати інших авторів [22, 23], отримані за подібних умов фільтрування. Більші значення вмісту білку в

екстракті ($\approx 52\%$) за температури екстрагування 225°C , отримані у [23], можуть бути пов'язані з більшим ступенем гідролізу білків. При цьому за температури 175°C отримано вміст білку $\approx 24\%$, за тривалості екстрагування 5хв при різкому охолодженні реактору.

Таблиця 2

Результати аналізу на загальний органічний азот випробовуваних розчинів соєвого шроту екстракту сухого та концентрація білку у зразках екстрактів

№ зразка	Маса наважки (m_i), мг	Вміст води у наважці (W_i), %	Середня площа піків ($S_{gr.m,i}$), од^2	Концентрація азоту у випробуваному розчині ($C_{N,i,j}$), мг/л	Концентрація білку у зразку екстракту соєвого шроту Y_i , %
1	102,21	0,734	442,2	66,63	40,97
	102,75		442,8	66,73	
2	101,53	0,726	460,6	69,49	43,27
	99,88		456,9	68,92	
3	101,25	0,658	418,8	63,00	38,78
	100,76		409,3	61,52	
4	102,88	0,833	502,1	75,94	47,50
	101,13		513,9	77,78	
5	102,66	1,154	489,7	74,02	46,13
	103,71		506,0	76,55	
6	102,14	1,043	472,4	71,33	39,59
	101,57		376,5	56,42	
7	101,49	1,252	442,7	66,71	41,85
	104,03		458,7	69,20	
8	102,30	1,002	451,2	68,03	41,86
	99,02		434,7	65,47	
9	102,39	1,200	439,5	66,21	40,41
	101,15		424,0	63,80	

Результати та їх обговорення

Коефіцієнти інтерполяційної квадратичної моделі (2) були визначені методом найменших квадратів. Отримані значення коефіцієнтів моделі у нормованому та натуральному вигляді наведені у табл. 3.

За отриманим рівнянням моделі для різних значень гідромодуля були побудовані сімейства поверхонь (рис. 5), що демонструють залежності вмісту білку в сухій речовині екстракту соєвого шроту від тривалості та температури процесу.

Таблиця 3

Коефіцієнти інтерполяційної моделі

Коефіцієнт	Значення	
	для нормованих значень факторів	для натуральних значень факторів
b_0, b_{n0}	46,130	-124,22
b_1, b_{n1}	0,18333	2,2247
b_2, b_{n2}	-1,9233	0,89833
b_3, b_{n3}	1,4600	0,84933
b_4, b_{n4}	-3,2167	-0,0080417
b_5, b_{n5}	-2,2367	-0,089467
b_6, b_{n6}	-0,34833	-0,013933
b_7, b_{n7}	0,36167	0,0036167

Поверхні на рис. 5 показують, значну залежність виходу білку до сухої речовини екстракту соєвого шроту від тривалості та температури процесу СКВ екстрагування. Також можна відмітити поступове підвищення виходу білку зі збільшенням гідромодуля екстракційної суміші.

Наявність точок максимуму на поверхнях, наведених на рис. 5, вказує на існування оптимальних значень температури і тривалості процесу СКВ екстрагування білку з соєвого шроту. Для їх визначення застосуємо відомий алгоритм дослідження функції багатьох змінних на екстремум, згідно якого візьмемо перші похідні за змінними T і t від (1) і прирівняємо до нуля:

$$\frac{dY}{dT} = b_{n1} + 2b_{n4}T + b_{n7}t = 0; \quad \frac{dY}{dt} = b_{n2} + 2b_{n5}t + b_{n7}T = 0. \quad (5)$$

Розв'язання (5) відносно змінних T і t дає значення температури та тривалості за яких, функція Y

(1) має локальний екстремум, що згідно графіків на рис. 5 є максимумом:

$$T = T_{Y_{\text{opt}}} = \frac{2b_{n1}b_{n5} - b_{n2}b_{n7}}{b_{n7}^2 - 4b_{n4}b_{n5}}, \quad t = t_{Y_{\text{opt}}} = \frac{2b_{n2}b_{n4} - b_{n1}b_{n7}}{b_{n7}^2 - 4b_{n4}b_{n5}}. \quad (6)$$

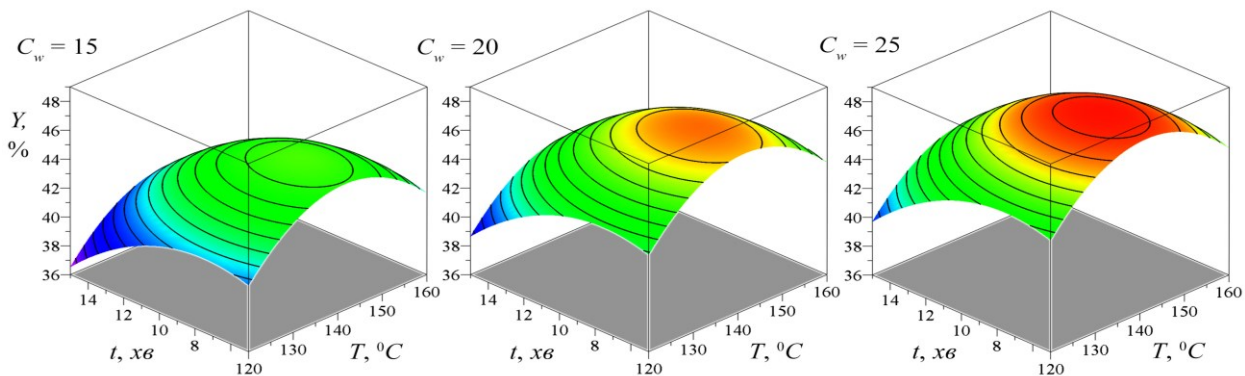


Рис. 5. Поверхні залежностей вмісту білку у сухому екстракті соєового шроту від тривалості та температури процесу для різних значень гідромодуля

або, з урахуванням даних табл. 3

$$T = T_{Y_{\text{opt}}} = 140,10^\circ\text{C}, \quad t = t_{Y_{\text{opt}}} = 7,85\text{хв}.$$

Підставивши (6) до залежності (1) отримаємо залежність виходу білку до сухої речовини екстракту від концентрації води у екстракційній суміші за оптимальних значень температури та тривалості процесу:

$$Y = Y_{\text{opt}} = b_{n0} - \frac{b_{n1}b_{n2}b_{n7} - b_{n2}^2b_{n4} - b_{n1}^2b_{n5}}{b_{n7}^2 - 4b_{n4}b_{n5}} + b_{n3}C_w + b_{n6}C_w^2, \quad (7)$$

або

$$Y_{\text{opt}} = 35,130 + 0,84633C_w - 0,013933C_w^2.$$

Графік залежності (7) наведено на рис. 6, де суцільною лінією показано ділянку кривої у межах досліджуваного діапазону зміни гідромодуля.

Згідно отриманої залежності вихід білка монотонно зростає у діапазоні $C_w = 15 \dots 25$ і досягає найбільшого значення $Y_{\text{max}} = 47,7\%$ за гідромодуля 1:25.

Екстраполяція залежності (7) за межі досліджуваного діапазону, що наведена штриховою лінією на рис. 6, показує тенденцію зниження виходу білка при $C_w < 15$ та подальшого зростання виходу білка до екстракту при зростанні гідромодуля $C_w > 25$.

Дослідження (7) на екстремум показує, що максимум виходу білка може бути досягнутий за гідромодуля 1:30,5 і складатиме 48,1%. Однак досягнення такого значення виходу білку може бути невиправданим, оскільки зі збільшенням концентрації води у екстракційній суміші від $C_w = 25$ до $C_w = 30,5$, тобто на 22 %, вихід білку зростатиме лише на 0,4 %. Спадання виходу білка $C_w > 30,5$ (рис. 6) є фізично необґрунтованим, однак можна очікувати, що дійсна крива матиме горизонтальну асимптоту поблизу значення 48,1%. Однак такі допущення потребують обов'язкового експериментального підтвердження.

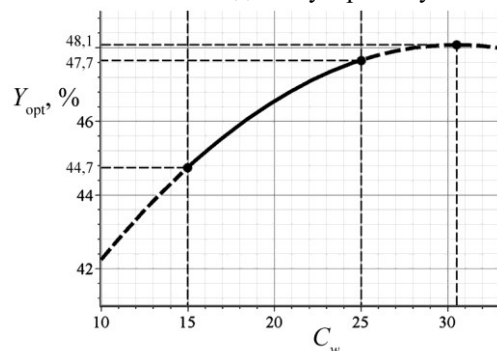


Рис. 6. Залежність максимального виходу білку до сухої речовини екстракту соєового шроту від гідромодуля

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Таким чином, експериментально досліджено вплив параметрів (температура, тривалість, гідромодуль) процесу субкритичної водної екстракції соєового шроту на вихід білку до сухої речовини екстракту. На основі отриманих дослідних даних побудовано квадратичну інтерполяційну модель залежності концентрації білку в сухій речовині екстракту від параметрів процесу для діапазону зміни їх значень: температура ($120 \dots 160^\circ\text{C}$), тривалість екстрагування ($5 \dots 15\text{хв}$), гідромодуль ($1:15 \dots 25$). Встановлено:

- концентрація білка в сухій речовині екстракту соєового шроту значною мірою залежить від температури, тривалості процесу та величини гідромодуля;
- залежність виходу білка від досліджуваних параметрів процесу має локальний максимум, що досягається при $T_{Y_{\text{opt}}} = 140,01^\circ\text{C}$, $t_{Y_{\text{opt}}} = 7,85\text{хв}$. Такі значення температури та тривалості процесу забезпечують оптимальний вихід білка для заданого гідромодуля, що визначається залежністю (7).
- за оптимальних значень температури та тривалості процесу вихід білка до сухої речовини екстракту монотонно зростає зі збільшенням гідромодуля і досягає максимуму 47,7% при гідромодулі 1:25;

- екстраполяція моделі на вищі значення гідромодуля показує незначне зростання виходу білка до 48,1% при зростанні гідромодуля на 22 % до 1:30,5.

У роботі вперше досліджено та встановлено оптимальні параметри процесу екстрагування білку субкритичною водою із соєвого шроту. Отримані результати можуть бути використані при удосконаленні технології отримання соєвого білкового концентрату та ізоляту із застосуванням методу СКВ екстрагування.

Література

1. Qin P., Wang T., Luo Y. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *J. Agric. Food Res.* 2022. Vol. 7. 100265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>.
2. Lachos-Perez D., Baseggio A. M., Mayanga-Torres P. C., Maróstica M. R., Rostagno M. A., Martínez J., Forster-Carneiro T. Subcritical water extraction of flavanones from defatted orange peel. *J. Supercrit. Fluids.* 2018. Vol. 138. P. 7–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.03.015>.
3. Zhang J., Wen C., Zhang H., Duan Y., Ma H. Recent advances in the extraction of bioactive compounds with subcritical water: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 2020. Vol. 95. P. 183–195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.018>.
4. Cheng Y., Xue F., Yu S., Du S., Yang Y. Subcritical Water Extraction of Natural Products. *Molecules.* 2021. Vol. 26. 4004. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26134004>.
5. Ibrahim S., Santos R., Bowra S. Optimization of Subcritical Water Mediated Extraction of Apple Pomace Polyphenolics and their Antioxidant Activity. *J. Chromatogr Sep Tech.* 2018. Vol. 9, No. 5. 1000410. DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7064.1000410>.
6. Sukmanov V., Ukrainets A., Zavyalov V., Marynin A. Research of extraction of biologically active substances from grape pomace by subcritical water. *East-Eur. J. Enterp. Technol.* 2017. Vol. 5, No. 11-89. P. 70–80. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108992>.
7. Сукманов В. О., Супрун А. В. Екстрагування біологічно активних речовин з лушпиння цибулі субкритичною водою в статичному режимі. *Journal of Chemistry and Technologies.* 2021. Вип. 29, № 2. P. 265–278. DOI: <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v29i2.225749>.
8. Sun H., Yuan X., Zhang Z., Su X., Shi M. Thermal Processing Effects on the Chemical Constituent and Antioxidant Activity of Okara Extracts Using Subcritical Water Extraction. *J. Chem.* 2018. Vol. 2018. 6823789. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/6823789>.
9. Nkurunziza D., Pendleton P., Chun B. Optimization and kinetics modeling of okara isoflavones extraction using subcritical water. *Food Chem.* 2019. Vol. 295. P. 613–621. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.129>.
10. Nkurunziza D., Pendleton P., Sivagnanam S., Park J.-S., Chun B. Subcritical water enhances hydrolytic conversions of isoflavones and recovery of phenolic antioxidants from soybean byproducts (okara). *J. Ind. Eng. Chem.* 2019. Vol. 80, No. 25. P. 696–703. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.08.044>.
11. Stintzing F. C., Hoffmann M., Carle R. Thermal degradation kinetics of isoflavone aglycones from soy and red clover. *Mol. Nutr. Food Res.* 2006. Vol. 50, No. 4-5. P. 373–380. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.200500187>.
12. Álvarez-Viñas M., Rodríguez-Seoane P., Flórez-Fernández N., Dolores Torres M., Díaz-Reinoso B., Moure A., Domínguez H. Subcritical Water for the Extraction and Hydrolysis of Protein and Other Fractions in Biorefineries from Agro-food Wastes and Algae: a Review. *Food Bioprocess Technol.* 2021. Vol. 14. P. 373–387. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02536-4>.
13. Sereewatthanawut I., Prapintip S., Watchiraruij K., Goto M., Sasaki M., Shotipruk A. Extraction of protein and amino acids from deoiled rice bran by subcritical water hydrolysis. *Bioresour. Technol.* 2008 Vol. 99, No. 3. P. 555–561. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.030>.
14. Di Domenico Ziero H., Ampese L. C., Sganzerla W. G., Torres-Mayanga P. C., Timko M. T., Mussatto S. I., Forster-Carneiro T. Subcritical water hydrolysis of poultry feathers for amino acids production. *J. Supercrit. Fluids.* 2022. Vol. 181. 105492. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105492>.
15. Rodrigues L. A., Matias A. A., Paiva A. Recovery of antioxidant protein hydrolysates from shellfish waste streams using subcritical water extraction. *Food Bioprod. Process.* 2021. Vol. 130. P. 154–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.09.011>.
16. Zhang J., Wen C., Zhang H., Zandile M., Luo X., Duan Y., Ma H. Structure of the zein protein as treated with subcritical water. *Int. J. Food Prop.* 2018. Vol. 21, No. 1. P. 128–138. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1414839>.
17. S'a A., Moreno Y., Carciofi B. Food processing for the improvement of plant proteins digestibility. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020. Vol. 60, No. 20. P. 3367–3386. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1688249>.
18. Ma C.-Y., Liu W.-S., Kwok K. C., Kwok F. Isolation and characterization of proteins from soymilk residue (okara). *Food Res. Int.* 1996. Vol. 29, No. 8. P. 799–805. DOI: [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(95\)00061-5](https://doi.org/10.1016/0963-9969(95)00061-5).
19. Chang K., Jiang W., Liu J. Effect of subcritical water treatment on the structure and foaming properties of egg white protein. *Food Hydrocoll.* 2022. Vol. 124, Part A. 107241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107241>.

20. Sereewatthanawut I., Prapintip S., Watchiraruj K., Goto M., Sasaki M., Shotipruk A. Extraction of protein and amino acids from deoiled rice bran by subcritical water hydrolysis. *Bioresour. Technol.* 2008. Vol. 99, No. 3. P. 555–561. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.030>.
21. Wiboonsirikul J., Mori M., Khuwijtjaru P., Adachi S. Properties of Extract from Okara by Its Subcritical Water Treatment. *Int. J. Food Prop.* 2013. Vol. 16, No. 5. P. 974–982. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.074>.
22. Watchararuj K., Goto M., Sasaki M., Shotipruk A. Value-added subcritical water hydrolysate from rice bran and soybean meal. *Bioresour. Technol.* 2008. Vol. 99, No. 14. P. 6207–6213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.021>.
23. Khuwijtjaru P., Anantanasuwong S., Adachi S. Emulsifying and Foaming Properties of Defatted Soy Meal Extracts Obtained by Subcritical Water Treatment. *Int. J. Food Prop.* 2011. Vol. 14, No. 1. P. 9–16. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942910903112118>.
24. Ndlela S. C., de Moura J. M. L. N., Olson N. K., Johnson L. A. Aqueous Extraction of Oil and Protein from Soybeans with Subcritical Water. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2012. Vol. 89, No. 6. P. 1145–1153. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-011-1993-7>.

References

1. Qin P., Wang T., Luo Y. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *J. Agric. Food Res.* 2022. Vol. 7. 100265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>.
2. Lachos-Perez D., Basseggio A. M., Mayanga-Torres P. C., Maróstica M. R., Rostagno M. A., Martínez J., Forster-Carneiro T. Subcritical water extraction of flavanones from defatted orange peel. *J. Supercrit. Fluids.* 2018. Vol. 138. P. 7–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.03.015>.
3. Zhang J., Wen C., Zhang H., Duan Y., Ma H. Recent advances in the extraction of bioactive compounds with subcritical water: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 2020. Vol. 95. P. 183–195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.018>.
4. Cheng Y., Xue F., Yu S., Du S., Yang Y. Subcritical Water Extraction of Natural Products. *Molecules.* 2021. Vol. 26. 4004. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26134004>.
5. Ibrahim S., Santos R., Bowra S. Optimization of Subcritical Water Mediated Extraction of Apple Pomace Polyphenolics and their Antioxidant Activity. *J. Chromatogr Sep Tech.* 2018. Vol. 9, No. 5. 1000410. DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7064.1000410>.
6. Sukmanov V., Ukrainets A., Zavyalov V., Marynin A. Research of extraction of biologically active substances from grape pomace by subcritical water. *East-Eur. J. Enterp. Technol.* 2017. Vol. 5, No. 11–89. P. 70–80. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108992>.
7. Sukmanov V. A., Suprun A. V. [Extraction of biologically active substances from onion peel with the subcritical water in a static mode]. *Journal of Chemistry and Technologies.* 2021. Vol. 29, No. 2. P. 265–278. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v29i2.225749>.
8. Sun H., Yuan X., Zhang Z., Su X., Shi M. Thermal Processing Effects on the Chemical Constituent and Antioxidant Activity of Okara Extracts Using Subcritical Water Extraction. *J. Chem.* 2018. Vol. 2018. 6823789. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/6823789>.
9. Nkurunziza D., Pendleton P., Chun B. Optimization and kinetics modeling of okara isoflavones extraction using subcritical water. *Food Chem.* 2019. Vol. 295. P. 613–621. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.129>.
10. Nkurunziza D., Pendleton P., Sivagnanam S., Park J.-S., Chun B. Subcritical water enhances hydrolytic conversions of isoflavones and recovery of phenolic antioxidants from soybean byproducts (okara). *J. Ind. Eng. Chem.* 2019. Vol. 80, No. 25. P. 696–703. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.08.044>.
11. Stintzing F. C., Hoffmann M., Carle R. Thermal degradation kinetics of isoflavone aglycones from soy and red clover. *Mol. Nutr. Food Res.* 2006. Vol. 50, No. 4–5. P. 373–380. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.200500187>.
12. Álvarez-Viñas M., Rodríguez-Seane P., Flórez-Fernández N., Dolores Torres M., Díaz-Reinoso B., Moure A., Domínguez H. Subcritical Water for the Extraction and Hydrolysis of Protein and Other Fractions in Biorefineries from Agro-food Wastes and Algae: a Review. *Food Bioprocess Technol.* 2021. Vol. 14. P. 373–387. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02536-4>.
13. Sereewatthanawut I., Prapintip S., Watchiraruj K., Goto M., Sasaki M., Shotipruk A. Extraction of protein and amino acids from deoiled rice bran by subcritical water hydrolysis. *Bioresour. Technol.* 2008. Vol. 99, No. 3. P. 555–561. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.030>.
14. Di Domenico Ziero H., Ampese L. C., Sganzerla W. G., Torres-Mayanga P. C., Timko M. T., Mussatto S. I., Forster-Carneiro T. Subcritical water hydrolysis of poultry feathers for amino acids production. *J. Supercrit. Fluids.* 2022. Vol. 181. 105492. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105492>.
15. Rodrigues L. A., Matias A. A., Paiva A. Recovery of antioxidant protein hydrolysates from shellfish waste streams using subcritical water extraction. *Food Bioprod. Process.* 2021. Vol. 130. P. 154–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.09.011>.
16. Zhang J., Wen C., Zhang H., Zandile M., Luo X., Duan Y., Ma H. Structure of the zein protein as treated with subcritical water. *Int. J. Food Prop.* 2018. Vol. 21, No. 1. P. 128–138. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1414839>.
17. S'a A., Moreno Y., Carciofi B. Food processing for the improvement of plant proteins digestibility. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020. Vol. 60, No. 20. P. 3367–3386. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1688249>.
18. Ma C.-Y., Liu W.-S., Kwok K. C., Kwok F. Isolation and characterization of proteins from soymilk residue (okara). *Food Res. Int.* 1996. Vol. 29, No. 8. P. 799–805. DOI: [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(95\)00061-5](https://doi.org/10.1016/0963-9969(95)00061-5).
19. Chang K., Jiang W., Liu J. Effect of subcritical water treatment on the structure and foaming properties of egg white protein. *Food Hydrocoll.* 2022. Vol. 124, Part A. 107241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107241>.
20. Sereewatthanawut I., Prapintip S., Watchiraruj K., Goto M., Sasaki M., Shotipruk A. Extraction of protein and amino acids from deoiled rice bran by subcritical water hydrolysis. *Bioresour. Technol.* 2008. Vol. 99, No. 3. P. 555–561. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.030>.
21. Wiboonsirikul J., Mori M., Khuwijtjaru P., Adachi S. Properties of Extract from Okara by Its Subcritical Water Treatment. *Int. J. Food Prop.* 2013. Vol. 16, No. 5. P. 974–982. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.074>.
22. Watchararuj K., Goto M., Sasaki M., Shotipruk A. Value-added subcritical water hydrolysate from rice bran and soybean meal. *Bioresour. Technol.* 2008. Vol. 99, No. 14. P. 6207–6213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.021>.
23. Khuwijtjaru P., Anantanasuwong S., Adachi S. Emulsifying and Foaming Properties of Defatted Soy Meal Extracts Obtained by Subcritical Water Treatment. *Int. J. Food Prop.* 2011. Vol. 14, No. 1. P. 9–16. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942910903112118>.
24. Ndlela S. C., de Moura J. M. L. N., Olson N. K., Johnson L. A. Aqueous Extraction of Oil and Protein from Soybeans with Subcritical Water. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2012. Vol. 89, No. 6. P. 1145–1153. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-011-1993-7>.

Рецензія/Peer review : 25.06.2022 р.

Надрукована/Printed : 02.08.2022 р.

ЧИЖМОТРИЯ О. В.

Державний університет «Житомирська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-5515-6550>e-mail: chov@ztu.edu.ua

ВАКАЛЮК Т. А.

Державний університет «Житомирська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-6825-4697>e-mail: tetianavakaliuk@gmail.com

АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СИСТЕМІ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ У ВІТЧИЗНЯНІЙ ЛІТЕРАТУРІ

Проблема прийняття рішень у системі транспортної логістики посідає одне з перших місць. В даній роботі проаналізовано стан проблеми прийняття рішень у системі транспортної логістики у вітчизняній літературі. Встановлено, що єдиного підходу до даного питання немає. Частина науковців розглядають використання інтегрального показника при визначенні оптимальних партій поставок товару, інші розглядають технологічні рішення, що відслідковуються через принципи та положення щодо реалізації концепції єдиного інформаційного простору транспортно-логістичного ринку. Окрім того, науковці розглядають проблему використання системи підтримки прийняття рішень саме для вибору оптимального із усіх можливих варіанту доставки товару певній групі споживачів з точки зору управління.

Ключові слова: транспортна логістика, прийняття рішень, система, задача комівояжера.

Oleksii CHYZHMOTRIA, Tetiana VAKALIUK

Zhytomyr Polytechnic State University

ANALYSIS OF THE STATE OF THE PROBLEM OF DECISION-MAKING IN THE SYSTEM OF TRANSPORT LOGISTICS IN THE DOMESTIC LITERATURE

The problem of decision-making in the transport logistics system is one of the first places. In particular, in transport logistics, there is a problem of drawing up an optimal route to reduce time, financial, and other transportation costs. In addition, given the current problems associated with the full-scale invasion of Ukraine by Russian troops, the issue of transport logistics is becoming increasingly important. As a result, interest in this problem is growing in the scientific community. The aim of the work is a detailed study of the state of the problem of decision-making in the system of transport logistics in the domestic literature. This paper analyzes the state of the problem of decision-making in the transport logistics system in the domestic literature. It is established that there is no single approach to this issue. Some researchers consider the use of integrated indicators in determining the optimal batches of supply of goods, others consider technological solutions that are monitored through the principles and provisions for the implementation of the concept of single information space in the transport and logistics market. In addition, researchers are considering the problem of using a decision support system to select the best of all possible options for the delivery of goods to a particular group of consumers in terms of management. Some scholars consider the problems of forming approaches to the intellectualization of transport logistics modeling, others study the methods and models of transport logistics, but only in retail outlets, and some of them consider the problem of developing a decision support system for managing transportation in uncertainty. Some authors offer their methodology to minimize the total transport costs, which is to estimate the rational number of intermediate centers, as well as finding their location, and the author's methodology for solving problems of a particular type (transport) with vague parameters. Thus, the problem of decision-making in the transport logistics system is a very important issue and requires further research for specific tasks.

Keywords: transport logistics, decision-making, system, salesman task.

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

Проблема прийняття рішень у системі транспортної логістики посідає одне з перших місць. Зокрема, в транспортній логістиці виділяється проблема складання оптимального маршруту для скорочення часових, фінансових та інших затрат на перевезення. А з врахуванням сучасних проблем, пов'язаних з повномасштабним вторгненням російських військ на територію України, питання транспортної логістики набуває все більшого значення.

Аналіз досліджень та публікацій

Внаслідок цього підвищується інтерес до цієї проблеми серед наукової спільноти. Так, проблемами прийняття рішень у системі транспортної логістики займалися багато вчених, зокрема, Бажан Л.І. [5], Васильченко М.І. [4], Глига А.В. [6], Дорошкевич Д.В. [2], Камардін А.С. [3], Карпенко Ю.В. [1], Коломієць А.І. [4], Краєва А.А. [4], Кузнецова І.О. [1], Репін А.О. [1], Петухова О.А. [3], Чугунов А.А. [6], Шаповалова О.О. [3] та ін. Також цій проблемі присвятили свої праці і закордонні науковці, такі як Ch. Diwaker [8], M. Dorigo [9], M. Birattari [9], J. Kennedy [10], N. Kumbharana [11], G.M. Pandey [11], J.B. Odili [12], M.N. Kahar [12], C. Wang [13], M. Lin [13], Y. Zhong [13]. Розглянемо основні положення та концепції, що досліджували вітчизняні науковці в цій галузі.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є детальне дослідження стану проблеми прийняття рішень у системі транспортної логістики у вітчизняній літературі.

Виклад основного матеріалу

Колективом авторів (Карпенко Ю. В., Кузнецова І. О., Репін А. О.) розглянуто використання інтегрального показника при визначенні оптимальних партій поставок товару. Окрім того, авторами запропонований критерій прийняття рішень, який дозволив збільшити ефективність використання транспортних засобів та знизити витрати на транспортування. При цьому авторами проаналізовано проблеми використання зазначеного інтегрального показника. У роботі проаналізовані індикатори оцінки логістичної системи та розраховано коефіцієнти вагомості складових [1]. У результаті автори здійснили такий розподіл вагових коефіцієнтів серед виокремлених індикаторів оцінки логістичної системи шляхом експертного попарного порівняння:

- Рівень запасів – 0,095;
- Рівень логістичних витрат – 0,095;
- Ймовірність дефіциту – 0,095;
- Надійність поставок – 0,142;
- Вчасність поставок – 0,142;
- Оборót логістичних активів – 0,19;
- Завантаженість потужностей транспортних засобів – 0,238.

Автори у своєму дослідженні довели «доцільність використання індикаторів оцінювання стану логістичної системи» [1]. Наковці встановили, що використання запропонованої моделі оптимальних партій поставок у випадку вирішення проблеми з нерівномірності поставок надає можливість значно збільшити завантаженість потужностей транспортних засобів, а також суттєво знизити рівень саме логістичних витрат [1].

Автори запропонували інформаційних взаємозв'язків системи логістики з іншими відділами підприємства, яка надає можливість значно скоротити швидкість надходження даних до того фахівця, який

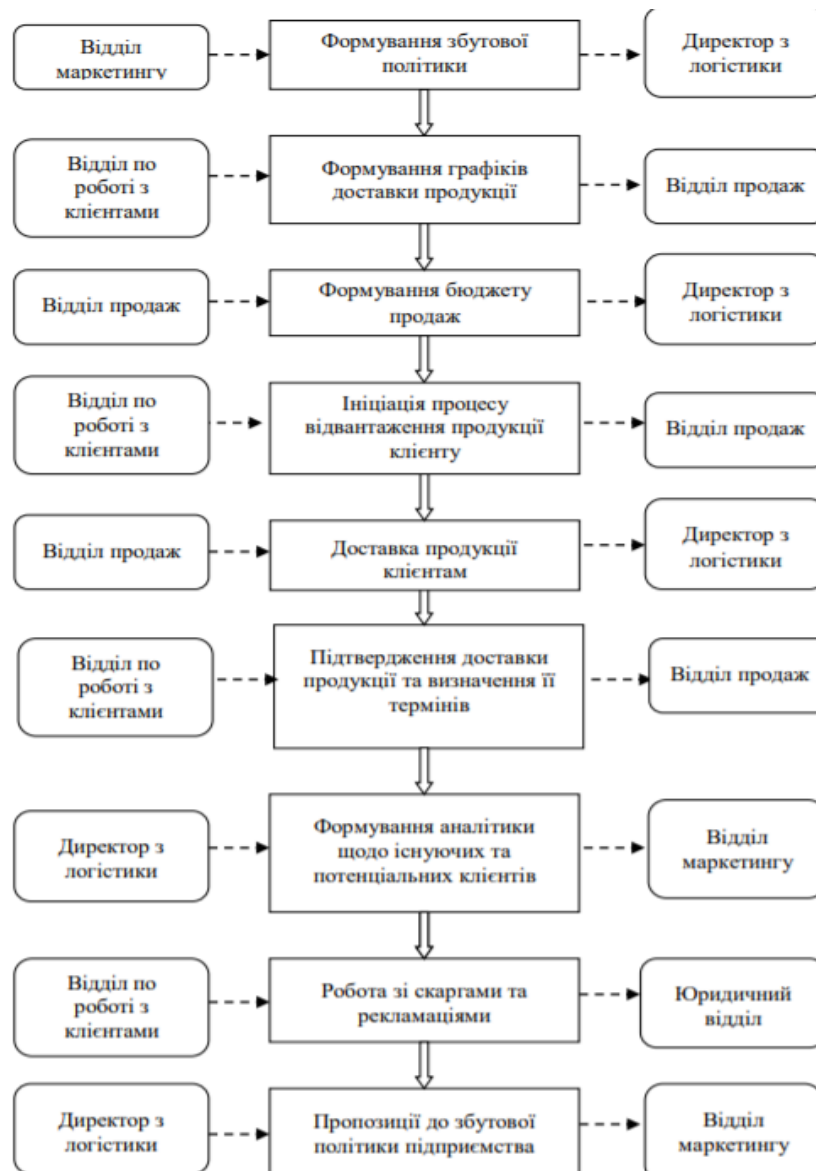


Рис. 1. Інформаційні взаємозв'язки системи логістики з іншими відділами підприємства (Карпенко Ю. В., Кузнецова І. О., Репін А. О.) [1]

приймає рішення (див. рис. 1) [1]. В результаті цього було запропоновано авторський критерій прийняття рішень щодо вдосконалення логістичних систем, який відрізняється від наявних врахуванням управління результативністю діяльності підприємства [1].

Дорошкевич Д. В. у своєму дослідженні розглядає технологічні рішення, що відслідковуються через принципи та положення щодо реалізації концепції єдиного інформаційного простору транспортно-логістичного ринку [2].

До основних принципів автором віднесено повноту інформації, актуальність, прогностичність, конкретність, час реакції, інституціональність, безпеку. Основи реалізації такого єдиного інформаційного простору передбачають технічні, економічні та правові аспекти. При цьому автор розглядає особливості реалізації кожного принципу за кожною складовою для усіх учасників [2].

Зокрема, на окрему увагу заслуговує принцип «Повнота інформації». З технічних основ це розуміється як передача даних на сервер загального користування безпосередньо після актуалізації, з точки зору економічних – передача даних для загального користування безоплатно, і з правових – відповідальність учасників процесу за повноту даних. Щодо особливостей реалізації для учасників процесу, то даний принцип передбачає перевірку цілісності даних та експертні оцінки [2].

Також варто виокремити принцип «Конкретність», який з технічних основ передбачає забезпечення даними з достатнім рівнем деталізації, а також терміновості використання для контрагентів, з економічних передбачає суттєве зниження транспортних витрат, окрім того ще й зниження часу проведення операції, з правових передбачає відкритість, структурованість та організованість даних саме для користувачів. До особливостей автор відніс деталізацію даних за номенклатурою вантажів, а також часу їх зародження для прийняття рішень контрагентами [2].

Відмітимо, що науковець також визначив методичні підходи до організації архітектури системи керування документацією транспортно-логістичних підприємств (див. рис. 2) [2].

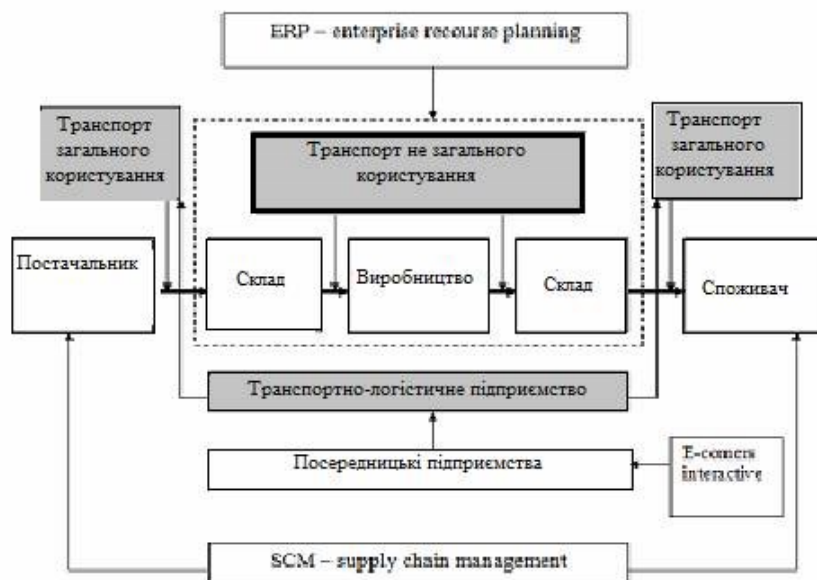


Рис. 2. Архітектура системи керування транспортною логістикою підприємства [2]

Колективом авторів (Камардін А. С., Петухова О. А., Шаповалова О. О.) було розглянуто проблему використання системи підтримки прийняття рішень саме для вибору оптимального з усіх можливих варіантів доставки товару певній групі споживачів з точки зору управління [3].

Дана система була розроблена науковцями з метою надання підтримки конкретній особі, яка має приймати рішення у визначенні оптимального варіанту з усіх альтернатив за певними критеріями (в дослідженні авторів це економічні критерії), а також обов'язково має практичну спрямованість [3].

Автори пропонують взяти за основу моделювання класичну задачу комівояжера, при розв'язанні якої застосовують алгоритм двофазної оптимізації транспортної мережі [3].

При цьому науковці виокремили можливості, які має забезпечити програмна реалізація запропонованого алгоритму: за визначеними критеріями визначати оптимальний маршрут, при цьому враховувати наявні обмеження; отримання даних щодо завантаженості транспортних засобів; отримання інформації щодо територій, що задіяні для розв'язання конкретної задачі; і звісно, розрахунок певних витрат (фінансових, часових тощо) [3].

Інший колектив авторів (Васильченко М. І., Коломієць А. І., Краєва А. А.) розглядає таке поняття, як контролінг та відповідно його економічну сутність. Науковці стверджують про те, що інтеграція контролінгу з логістичною діяльністю просто необхідна на підприємстві, оскільки впровадження контролінгу саме у логістичну діяльність надасть можливість «забезпечити координацію основних логістичних процесів підприємства» [4].

Зокрема, вони представили інтеграцію основних функцій контролінгу у логістичну діяльність: інформаційну, організаційну, координаційну, комунікаційну, прогнозу, функцію планування та контрольну функції [4].

Тут варто детально зупинитись на таких функціях, як комунікаційна та планування. Комунікаційна функція передбачає забезпечення комунікації всередині самого підприємства з боку функції контролінгу; зі сторони функції логістичного контролінгу передбачає встановлення взаємозв'язків не лише між підрозділами конкретного підприємства, а й взаємозв'язків з кінцевими споживачами та постачальниками; зі сторони функції логістичної діяльності передбачається встановлення та розвиток господарських взаємозв'язків [4]. Функція планування теж має три значення: зі сторони функції контролінгу передбачає надання відомостей для складання планів роботи; зі сторони функції логістичного контролінгу передбачає складання плану логістичного бюджету; зі сторони функції логістичної діяльності передбачається складання плану руху фінансового потоку [4].

Бажан Л.І. у своєму дослідженні розглядала проблеми формування підходів до інтелектуалізації моделювання транспортно-логістичної системи. Автор узагальнюючи існуючі підходи, наводить основні етапи будь-якої комплексної транспортно-технологічної схеми. Проте, як вказує науковець, показник ефективності такої системи залежить від декількох факторів (технічні засоби перевезення, технологія перевезення, організація власне перевезень тощо) [5]. Внаслідок чого Бажан Л.І. виокремлює групу показників, що впливають на логістичні витрати, та робить висновок про те, що результативність такої системи залежить від обсягів робіт, а також логістичних послуг [5].

Чугунов А.А. та Глига А.В. досліджували методи і моделі транспортної логістики, але лише в роздрібних торговельних підприємствах [6]. Серед основних таких методів автори виокремлюють методи прогнозування, системного аналізу, оптимізації, а також кібернетичний підхід. Ці методи автори виокремили саме для побудови оптимальних маршрутів, а також вирішення різних логістичних задач [6].

Автори узагальнюючи наявні методи та моделі, встановили, що у транспортній логістиці найбільш поширеними є ряд моделей, до яких відносять транспортну задачу, мережеві моделі та ін. Окрім того, як стверджують науковці, суттєве зниження логістичних витрат залежить від поліпшення обслуговування споживачів, що було досліджено за допомогою логістичних принципів [6].

Зінченко І. В. у своєму дослідженні розглядав проблему розробки системи підтримки прийняття рішень при управлінні транспортуваннями в умовах невизначеності. В результаті проведеного дослідження автор запропонував власну методику для забезпечення мінімізації загальних транспортних витрат, що полягає в оцінці раціонального числа проміжних центрів, а також у відшукуванні місць їх розташування. Окрім того, науковець описав авторську методику для розв'язку задач конкретного типу (транспортного) з параметрами, що нечітко задані. Також Зінченко І.В. доводить, що можна скоротити вихідні нечіткі задачі до чітких задач квадратичного програмування [7].

Автор також запропонував ще дві методики: методику декомпозиційної процедури для розрахунку параметрів та окремо методику розв'язку реальних задач комівояжера з використанням генетичного алгоритму (з врахуванням обліку фактично наявних магістралей) [7].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В даній роботі проаналізовано стан проблеми прийняття рішень у системі транспортної логістики у вітчизняній літературі. Встановлено, що єдиного підходу до даного питання немає. Частина науковців розглядають використання інтегрального показника при визначенні оптимальних партій поставок товару, інші розглядають технологічні рішення, що відслідковуються через принципи та положення щодо реалізації концепції єдиного інформаційного простору транспортно-логістичного ринку. Окрім того, науковці розглядають проблему використання системи підтримки прийняття рішень саме для вибору оптимального із усіх можливих варіанту доставки товару певній групі споживачів з точки зору управління. Деякі науковці розглядають проблеми формування підходів до інтелектуалізації моделювання транспортно-логістичної системи, інші досліджують методи і моделі транспортної логістики, але лише в роздрібних торговельних підприємствах, окремі з них розглядають проблему розробки системи підтримки прийняття рішень при управлінні транспортуваннями в умовах невизначеності.

Отже, проблема прийняття рішень у системі транспортної логістики є питанням досить актуальним і потребує подальшого дослідження для конкретних завдань.

Література

1. Кузнецова І. О. Прийняття управлінських рішень з удосконалення логістичної системи / І. О. Кузнецова, Ю. В. Карпенко, А. О. Репін // Вісник соціально-економічних досліджень : зб. наук. праць. – Одеса : Одеський національний економічний університет, 2020. – № 2(73). – С. 136–149. – DOI: [https://doi.org/10.33987/vsed.2\(73\).2020.136-149](https://doi.org/10.33987/vsed.2(73).2020.136-149)
2. Дорошкевич Д. В. Розвиток логістики на базі концепції єдиного інформаційного простору / Д. В. Дорошкевич // Ефективна економіка. – Дніпро : Дніпровський державний аграрно-економічний університет, 2012. – № 6. – URL : <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3281>

3. Шаповалова О. О. Система підтримки прийняття рішень при виконанні логістичних завдань / О.О. Шаповалова, А.С. Камардін, О.А. Петухова // Системи обробки інформації. – Харків : Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – 2018. – № 3(154). – С. 57–63. – DOI: <https://doi.org/10.30748/soi.2018.154.08>
4. Васильченко М. І. Контролінг логістичної діяльності підприємства в умовах невизначеності зовнішнього середовища: управлінський аспект / М. І. Васильченко, А. І. Коломієць, А. А. Краєва // Економіка та управління підприємствами. – 2018. – № 25. – URL : http://www.market-infr.od.ua/journals/2018/25_2018_ukr/33.pdf
5. Бажан Л.І. Формування підходу до інтелектуалізації моделювання транспортно-логістичної системи / Л.І. Бажан // Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем : збірник наукових праць МННЦ ІТіС. – Київ, 2012. – Випуск 17. – С. 23–37. – URL : <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/46276/02-Bazhan.pdf?sequence=1>
6. Чугунов А.А. Дослідження методів і моделей транспортної логістики в роздрібних торговельних підприємствах / А.А. Чугунов, А.В. Глига // Економічна кібернетика: теорія, практика та напрямки розвитку : науково-практична конференція. – Одеса, 28-29 листопада 2017. – С. 102–105. – URL : https://economics.net.ua/files/science/ek_kiber/2017/102.pdf
7. Зінченко І. В. Система підтримки прийняття рішень при управлінні транспортуваннями в умовах невизначеності : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спец. 05.13.03 – системи і процеси керування / Зінченко І. В. – Харків, 2007. – 17 с.
8. Diwaker Ch. ACO-SA: enhanced optimization for TSP. International Journal of Advanced Research in Computer Science. 2017. Vol. 8, No. 7. P. 294-297.
9. Dorigo M., Birattari M. Ant colony optimization. Encyclopedia of Machine Learning. Springer, 2010. P. 36-39.
10. Kennedy J. Particle swarm optimization. Encyclopedia of Machine Learning. Springer, 2010. P. 760-766.
11. Kumbharana N., Pandey G.M. A comparative study of ACO, GA and SA for solving travelling salesman problem. International Journal of Societal Applications of Computer Science. 2013. Vol. 2. P. 224-228.
12. Odili J.B., Kahar M.N. Solving the Traveling Salesman's Problem Using the African Buffalo Optimization. Computational Intelligence and Neuroscience. 2016. Vol. 2016. P. 154-166. <https://doi.org/10.1155/2016/1510256>.
13. Wang C., Lin M., Zhong Y. Solving travelling salesman problem using multiagent simulated annealing algorithm with instance-based sampling. International Journal of Computing Science and Mathematics (Inderscience). 2015. Vol. 6(4). P. 336-353.

References

1. Kuznetsova I. O. Pryiniattia upravlynskykh rishen z udoskonalennia lohystychnoi systemy / I. O. Kuznetsova, Yu. V. Karpenko, A. O. Repin // Visnyk sotsialno-ekonomichnykh doslidzhen : zb. nauk. prats. – Odesa : Odeskyi natsionalnyi ekonomichnyi universytet, 2020. – № 2(73). – S. 136–149. – DOI: [https://doi.org/10.33987/vsed.2\(73\).2020.136-149](https://doi.org/10.33987/vsed.2(73).2020.136-149)
2. Doroshkevych D. V. Rozvytok lohystyky na bazi kontseptsii yedynoho informatsiinoho prostoru / D. V. Doroshkevych // Efektyvna ekonomika. – Dnipro : Dniprovskiy derzhavnyi aharno-ekonomichnyi universytet, 2012. – № 6. – URL : <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3281>
3. Shapovalova O. O. Systema pidtrymky pryiniattia rishen pry vykonanni lohystychnykh zavdan / O.O. Shapovalova, A.S. Kamardin, O.A. Petukhova // Systemy obrobky informatsii. – Kharkiv : Kharkivskiy natsionalnyi universytet Povitrianykh Syl imeni Ivana Kozheduba. – 2018. – № 3(154). – С. 57–63. – DOI: <https://doi.org/10.30748/soi.2018.154.08>
4. Vasylychenko M. I. Kontrolinh lohystychnoi diialnosti pidpryiemstva v umovakh nevyznachenosti zovnishnogo seredovyscha: upravlynskyi aspekt / M. I. Vasylychenko, A. I. Kolomiets, A. A. Kraieva // Ekonomika ta upravlinnia pidpryiemstvamy. – 2018. – № 25. – URL : http://www.market-infr.od.ua/journals/2018/25_2018_ukr/33.pdf
5. Bazhan L.I. Formuvannya pidkhodu do intelektualizatsii modeliuvannya transportno-lohystychnoi systemy / L.I. Bazhan // Ekonomiko-matematichne modeliuvannya sotsialno-ekonomichnykh system : zbirnik naukovykh prats MNNTs ITiS. – Kyiv, 2012. – Vypusk 17. – С. 23–37. – URL : <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/46276/02-Bazhan.pdf?sequence=1>
6. Chuhunov A.A. Doslidzhennia metodiv i modelei transportnoi lohystyky v rozdrubnykh torhovelnykh pidpryiemstvakh / A.A. Chuhunov, A.V. Hlyha // Ekonomichna kibernetika: teoriia, praktyka ta napriamky rozvytku : nauково-praktychna konferentsi. – Odesa, 28-29 lystopada 2017. – С. 102–105. – URL : https://economics.net.ua/files/science/ek_kiber/2017/102.pdf
7. Zinchenko I. V. Systema pidtrymky pryiniattia rishen pry upravlinni transportuvanniamy v umovakh nevyznachenosti : avtoreferat dysertatsii na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk zi spets. 05.13.03 – systemy i protsesy keruvannia / Zinchenko I. V. – Kharkiv, 2007. – 17 s.
8. Diwaker Ch. ACO-SA: enhanced optimization for TSP. International Journal of Advanced Research in Computer Science. 2017. Vol. 8, No. 7. P. 294-297.
9. Dorigo M., Birattari M. Ant colony optimization. Encyclopedia of Machine Learning. Springer, 2010. P. 36-39.
10. Kennedy J. Particle swarm optimization. Encyclopedia of Machine Learning. Springer, 2010. P. 760-766.
11. Kumbharana N., Pandey G.M. A comparative study of ACO, GA and SA for solving travelling salesman problem. International Journal of Societal Applications of Computer Science. 2013. Vol. 2. P. 224-228.
12. Odili J.B., Kahar M.N. Solving the Traveling Salesman's Problem Using the African Buffalo Optimization. Computational Intelligence and Neuroscience. 2016. Vol. 2016. P. 154-166. <https://doi.org/10.1155/2016/1510256>.
13. Wang C., Lin M., Zhong Y. Solving travelling salesman problem using multiagent simulated annealing algorithm with instance-based sampling. International Journal of Computing Science and Mathematics (Inderscience). 2015. Vol. 6(4). P. 336-353.

ЩЕРБАНЬ В. Ю.

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0002-4274-4425>
e-mail: scherbanvu@ukr.net

ЩЕНКО В. Д.

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0003-2180-5257>
e-mail: kipt@i.com.ua

КОЛИСКО О. З.

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0003-4043-1238>
e-mail: kipt@i.com.ua

КОЛИСКО М. І.

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0002-9982-7264>
e-mail: kipt@i.com.ua

ЩЕРБАНЬ Ю.Ю.

Київський фаховий коледж прикладних наук
<https://orcid.org/0000-0001-5024-8387>
e-mail: scherban@i.ua

ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОВИХ ФУНКЦІЙ РЕБЕР НЕОРІЄНТОВАНОГО ГРАФА ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ ДЕЙКСТРИ

Визначені вагові функції ребер неорієнтованого графа при комп'ютерному пошуку оптимального шляху. Використані алгоритми та комп'ютерні програми для пошуку оптимального шляху графа з використанням алгоритму Дейкстри, що дозволило визначати напруженість та зміни відносного натягу по зонах заправки трикотажних та текстильних машин, з урахуванням специфіки конструкції системи подачі нитки. Це призводить до зменшення обривності ниток.

Ключові слова: вагові функції ребер, алгоритм Дейкстри, неорієнтований граф, оптимальний шлях, комп'ютерна програма.

Volodymyr SHCHERBAN, Valentin ISHCENKO, Oksana KOLISKO, Marjana GOLDBERG
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
Yuryj SHCHERBAN
Kyiv Professional College of Applied Sciences

DETERMINATION OF THE WEIGHT FUNCTIONS OF THE EDGES OF AN UNDIRECTED GRAPH IN THE COMPUTER SEARCH OF THE OPTIMAL PATH USING DAKYSTRE'S ALGORITHM

The use of algorithms and computer programs to find the optimal path of the graph using the Dijkstra algorithm allows determining the tension and changes in the relative tension in the filling zones of knitted and textile machines, taking into account the specifics of the design of the thread feeding system. This makes it possible to reduce the breakage of threads, to optimize thread tension in the working zone of the formation of the original product. Determining the weight functions of the edges of an undirected graph during the computer search for the optimal path is an important component of the optimization of thread tension in the working zone of the formation of the output product. Tension optimization is carried out on the basis of its minimization, which allows to reduce the probability of a break in the working area. Optimization of the geometric parameters of the thread feeding system on the technological equipment, namely the construction of such a broken form of the thread, in which the total angle of coverage of the constructive structural elements of the technological equipment in the form of cylindrical and torus-shaped guides, elements of tensioning devices, devices for monitoring breakage will have a minimum value. This will reduce the amount of friction force between the thread and the guide surfaces and obtain minimum tension in the working area. Taking into account the large number of structural elements of the thread feeding system on technological machines, their location in the plane and space, there is a need to use modern information technologies.

The imperfect shape of the thread filling line on technological machines of light industry, the low quality of complex threads and yarns when the tension increases along the filling depth leads to their breaks. The use of algorithms and computer programs for finding the optimal path of the graph using Dijkstra's algorithm allows determining tension and changes in relative tension in the filling zones of knitted and textile machines. The improvement of the process of thread processing on technological machines of light industry consists in minimizing tension and should be based on theoretical and experimental studies of the process of interaction of threads with structural elements of the feeding system, in particular, tensioning devices to control breakage and guides of large and small curvature.

Determination of the weight functions of the edges of the unoriented graph of the broken form of the thread allows us to obtain the total, minimum angle of coverage of the constructive structural elements of technological machines. The structural elements of the technological equipment represent the basis of cylindrical and torus-shaped guides, elements of tensioning devices, devices for monitoring breakage. This makes it possible to reduce tension and relative tension in the refueling zones of technological equipment.

Keywords: edge weight functions, Dijkstra's algorithm, undirected graph, optimal path, computer program.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Використання алгоритмів та комп'ютерних програм для пошуку оптимального шляху графа з використанням алгоритму Дейкстри дозволяє визначати напруженість та зміни відносного натягу по зонам

заправки трикотажних та текстильних машин, з урахуванням специфіки конструкції системи подачі нитки. Це дозволяє зменшити обривність ниток, оптимізувати натяг ниток в робочій зоні формування вихідного продукту. Визначення вагових функцій ребер неорієнтованого графа при комп'ютерному пошуку оптимального шляху є важливою складовою задачею оптимізації натягу ниток в робочій зоні формування вихідного продукту. Оптимізація натягу здійснюється на основі його мінімізації, що дозволяє зменшити ймовірність обриву в робочій зоні.

Оптимізація геометричних параметрів системи подачі нитки на технологічному обладнанні, а саме побудова такої ламаної форми нитки, при якій сумарний кут охоплення конструктивних структурних елементів технологічного обладнання у вигляді направляючих циліндричної форми та у формі тора, елементів пристроїв для натягу, пристроїв для контролю обриву буде мати мінімальне значення. Це дозволить зменшити величину сили тертя між ниткою та напрямними поверхнями і отримати в робочій зоні мінімальний натяг. Враховуючи велику кількість структурних елементів системи подачі нитки на технологічних машинах, їх розташування у площині та просторі виникає необхідність використання сучасних інформаційних технологій.

Аналіз досліджень та публікацій

Недосконала форма лінії заправки нитки на технологічних машинах легкої промисловості, низька якість комплексних ниток та пряжі при зростанні натягу по глибині заправки призводить до їх обривів [1, 2]. Використання алгоритмів та комп'ютерних програм для пошуку оптимального шляху графа з використанням алгоритму Дейкстри дозволяє визначати напруженість та зміни відносного натягу по зонам заправки трикотажних та текстильних машин [2]. Удосконалення процесу переробки ниток на технологічних машинах легкої промисловості полягає в мінімізації натягу [3, 5-9] і повинно базуватися на теоретичних та експериментальних дослідженнях процесу взаємодії ниток з структурними елементами системи подачі [1, 4], зокрема пристроями для натягу, для контролю обриву та спрямовувачами великої та малої кривизни [1, 2].

Визначення вагових функцій ребер неорієнтованого графа ламаної форми нитки дозволяє отримати сумарний, мінімальний кут охоплення конструктивних структурних елементів технологічних машин [1-3]. Структурні елементи технологічного устаткування представляють базу направляючих циліндричної форми та у формі тора, елементів пристроїв для натягу, пристроїв для контролю обриву [2, 7]. Це дозволяє зменшити напруженість та відносний натяг по зонам заправки технологічного устаткування [1, 2].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: визначення вагових функцій ребер неорієнтованого графа при комп'ютерному пошуку оптимального шляху з використанням алгоритму Дейкстри.

Виклад основного матеріалу

Розв'язок задачі пошуку оптимальної траєкторії можна отримати, скориставшись моделлю у вигляді неорієнтованого графа $G_{tfs}(V_{tfs}, E_{tfs})$, який представляє собою сукупність двох множин

$$G_{tfs}(V_{tfs}, E_{tfs}) = \langle V_{tfs}, E_{tfs} \rangle, \quad (1)$$

де V_{tfs} - непуста множина вершин контакту; E_{tfs} - множина ребер, яка складається з неупорядкованих пар вершин контакту множини V_{tfs} .

На рис.1 представлена загальна розрахункова схема заправки нитки.

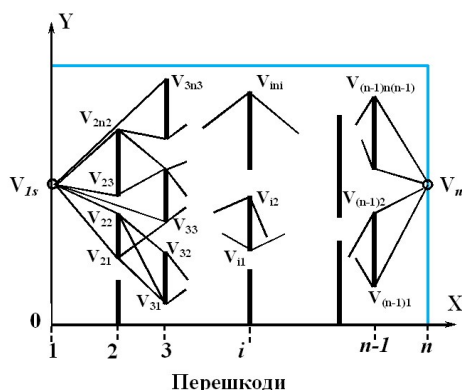


Рис.1. Розрахункова схема системи подачі нитки

Перейдемо до визначення вагових функцій ребер $e_{(1)}^{(1-2)}, \dots, e_{(n-1)}^{[(n-1)-n]}$ неорієнтованого графа $G_{tfs}(V_{tfs}, E_{tfs})$. Вагові функції визначаються дійсними числами \square . Множина вагових функцій A_{tfs} , які відображають ребра на їх вагу визначається з наступної системи

$$A_{tfs} = \bigcup_{k=2}^{n-1} A^{[(k2)-(k2+1)]}, \left\{ \alpha_{(1s-21)}^{[(1)-(2)]}, \alpha_{(1s-22)}^{[(1)-(2)]}, \dots, \alpha_{(1s-2n_2)}^{[(1)-(2)]} \right\} \in A^{[(1)-(2)]},$$

$$\left\{ \alpha_{(21-31)}^{[(2)-(3)]}, \alpha_{(22-32)}^{[(2)-(3)]}, \dots, \alpha_{(2n_2-3n_3)}^{[(2)-(3)]} \right\} \in A^{[(2)-(3)]},$$

$$\dots \left\{ \alpha_{[(n-1)1-nt]}^{[(n-1)-(n)]}, \alpha_{[(n-1)2-nt]}^{[(n-1)-(n)]}, \dots, \alpha_{[(n-1)n_{n-1}-nt]}^{[(n-1)-(n)]} \right\} \in A^{[(n-1)-(n)]},$$

де $k2$ - кількість зон розташування ребер неорієнтованого графа; $\alpha_{(1s-21)}^{[(1)-(2)]}, \dots, \alpha_{[(n-1)n_{n-1}-nt]}^{[(n-1)-(n)]}$ - відповідні вагові функції неорієнтованого графа $G_{tfs}(V_{tfs}, E_{tfs})$.

Для окремої вагової функції виконується співвідношення

$$\alpha_{(j_i)}^{[(i-1)-(i)]} : A_{tfs} \rightarrow \square, \quad (3)$$

де $\alpha_{(j_i)}^{[(i-1)-(i)]}$ - вагова функція j ребра неорієнтованого графа на ділянці між $i-1$ та i перешкодами.

Для задачі пошуку оптимальної траєкторії вагова функція для j ребра неорієнтованого графа визначається кутом нахилу цього ребра до горизонтальної вісі

$$\alpha_k^{[(i)-(i+1)]} = \arctg \left[\frac{|Y_{i+1,j+1} - Y_{i,j}|}{|X_{i+1,j+1} - X_{i,j}|} \right]$$

де k - номер ребра між перешкодами i та $i+1$; $X_{i,j}, Y_{i,j}$ - координати вершини графа, яка розташована на початку ребра k ; $X_{i+1,j+1}, Y_{i+1,j+1}$ - координати вершини графа, яка розташована на кінці ребра k .

Значення вагових функцій ребер для зони між першою та другою перешкодами представлено наступною системою (верхній індекс вказує між якими перешкодами розташовані ребра, нижній індекс вказує для якої вершини на поточній перешкоді відноситься ребро)

$$\alpha_{(1s-21)}^{[(1)-(2)]} = \arctg \left[\frac{|Y_{21} - Y_{1s}|}{|X_{21} - X_{1s}|} \right], \alpha_{(1s-22)}^{[(1)-(2)]} = \arctg \left[\frac{|Y_{22} - Y_{1s}|}{|X_{22} - X_{1s}|} \right],$$

$$\dots$$

$$\alpha_{(1s-2n_2)}^{[(1)-(2)]} = \arctg \left[\frac{|Y_{2n_2} - Y_{1s}|}{|X_{2n_2} - X_{1s}|} \right]$$

Значення вагових функцій ребер між другою та третьою перешкодами визначається аналогічно.

Значення вагових функцій ребер між передостанньою та останньою перешкодами відображається наступною системою

$$\alpha_{[(n-1)1-nt]}^{[(n-1)-(n)]} = \arctg \left[\frac{|Y_{nt} - Y_{(n-1)1}|}{|X_{nt} - X_{(n-1)1}|} \right],$$

$$\alpha_{[(n-1)2-nt]}^{[(n-1)-(n)]} = \arctg \left[\frac{|Y_{nt} - Y_{(n-1)2}|}{|X_{nt} - X_{(n-1)2}|} \right],$$

$$\dots$$

$$\alpha_{[(n-1)n_{n-1}-nt]}^{[(n-1)-(n)]} = \arctg \left[\frac{|Y_{nt} - Y_{(n-1)n_{n-1}}|}{|X_{nt} - X_{(n-1)n_{n-1}}|} \right]$$

З урахуванням систем рівнянь (2) - (5) множина вагових функцій, які відображають ребра на їх вагу визначається з наступної системи

$$\begin{aligned}
A_{jfs} = \bigcup_{k=2}^{n-1} A_{[(k-2)-(k-2+1)]}, \{ \arctg[\frac{|Y_{21}-Y_{1s}|}{|X_{21}-X_{1s}|}], \arctg[\frac{|Y_{22}-Y_{1s}|}{|X_{22}-X_{1s}|}], \dots \\
\dots \arctg[\frac{|Y_{2n_2}-Y_{1s}|}{|X_{2n_2}-X_{1s}|}] \} \in A^{[(1)-(2)]}, \\
\{ \arctg[\frac{|Y_{31}-Y_{21}|}{|X_{31}-X_{21}|}], \arctg[\frac{|Y_{31}-Y_{22}|}{|X_{31}-X_{22}|}], \dots \\
\dots \arctg[\frac{|Y_{3n_3}-Y_{2n_2}|}{|X_{3n_3}-X_{2n_2}|}] \} \in A^{[(2)-(3)]}, \\
\dots \dots \dots \\
\{ \arctg[\frac{|Y_{nt}-Y_{(n-1)1}|}{|X_{nt}-X_{(n-1)1}|}], \arctg[\frac{|Y_{nt}-Y_{(n-1)2}|}{|X_{nt}-X_{(n-1)2}|}], \dots \\
\dots \arctg[\frac{|Y_{nt}-Y_{(n-1)2}|}{|X_{nt}-X_{(n-1)2}|}] \} \in A^{[(n-1)-(n)]},
\end{aligned}$$

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Визначені вагові функції ребер неорієнтованого графа при комп'ютерному пошуку оптимального шляху з використанням алгоритму Дейкстри.

Література

1. Щербань В.Ю. Механіка нитки / В.Ю.Щербань. -К.:Освіта України, 2018.- 533 с.
2. Щербань В.Ю. Базове проектує забезпечення САПР в індустрії моди / В.Ю. Щербань, Ю.Ю. Щербань, О.З. Коліско, Г.В. Мельник, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник. – К.:Освіта України, 2018. – 902 с.
3. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application / V. Yu. Scherban, S.M. Krasnitsky, V.G. Rezanov.-К.:KNUTD, 2011. -220p.
4. Щербань В.Ю. САПР оборудования и технологических процессов легкой и текстильной промышленности / В.Ю. Щербань, О.И. Волков, Ю.Ю. Щербань. - К.:Бумсервис, 2004. - 519 с.
5. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі/ В.Ю.Щербань, В.Ю.Калашник, О.З.Коліско, М.І.Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – 223(2). – С.25-29.
6. Computer systems design: software and algorithmic components / V.Y. Shcherban, O.Z. Kolisko, G.V. Melnyk, M.I. Sholudko, V.Y. Kalashnik. – К.: Education of Ukraine, 2019. – 902 p.
7. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V. Yu. Scherban, O.Z. Kolisko, M.I. Sholudko, V. Yu. Kalashnik. – К.: Education of Ukraine, 2017. – 745 p.
8. Shcherban V. Warp yarn tension during fabric formation / V. Shcherban, G. Melnyk, M. Sholudko, V. Kalashnyk // Fibres and Textiles. – 2018. – volume 25. - №2. – PP.97-104.
9. Differential equations of the relative motion of the filament element on the end sections of the coil of the winding drum / I.A. Yakubitskaya, V.V. Chugin, V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. - 1997. - №6. - P.50-54.

References

1. Scherban V.Yu. Mechanics of Threads / V.Yu.Scherban. -K.: Formation of Ukraine, 2018.- 533 p.
2. Shcherban V.Yu. Basic design support of CAD in the fashion industry / V.Y. Shcherban, Y.Y. Shcherban, O.Z. Kolisko, G.V. Melnik, M.I. Sholudko, V.Y. Kalashnik. - Kyiv: Education of Ukraine, 2018. - 902 p.
3. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application / V. Yu. Scherban, S.M. Krasnitsky, V.G. Rezanov.-К.:KNUTD, 2011. -220p.
4. Scherban V.Yu. CAD equipment and technological processes for light and textile industries / V.Yu. Shcherban, O.I. Volkov, Yu.Yu. Shcherban. - К.: Boomservice, 2004. - 519 p.
5. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axisio // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. - 2015.Volume 223. Issue 2. pp.25-29.
6. Computer systems design: software and algorithmic components / V.Y. Shcherban, O.Z. Kolisko, G.V. Melnyk, M.I. Sholudko, V.Y. Kalashnik. – К.: Education of Ukraine, 2019. – 902 p.
7. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V. Yu. Scherban, O.Z. Kolisko, M.I. Sholudko, V. Yu. Kalashnik. – К.: Education of Ukraine, 2017. – 745 p.
8. Shcherban V. Warp yarn tension during fabric formation / V. Shcherban, G. Melnyk, M. Sholudko, V. Kalashnyk // Fibres and Textiles. – 2018. – volume 25. - №2. – PP.97-104.
9. Differential equations of the relative motion of the filament element on the end sections of the coil of the winding drum / I.A. Yakubitskaya, V.V. Chugin, V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. - 1997. - №6. - P.50-54.

Рецензія/Peer review : 10.06.2022 p.

Надрукована/Printed :02.08.2022 p.

ЯРЕМЕНКО О. О.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

<https://orcid.org/0000-0002-0452-1693>e-mail: olenaiaremenko@ogasa.org.ua

БАЛДУК П. Г.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

<https://orcid.org/0000-0002-9055-9005>e-mail: baldook.p@ogasa.org.ua

РОЗРАХУНОК ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ

В роботі в результаті розрахунку встановлюється доцільність установки та ступінь насичення арматурою розтягнутої та стисненої зон перетину. При малих ексцентриситетах, коли сила прикладається в межах ядра перерізу, насичення арматурою стиснутої зони призводить до помітного збільшення міцності перерізу. При великих ексцентриситетах насичення арматурою стиснутої зони малоефективне.

Ключові слова: діаграми деформування, кам'яна кладка, бетон, осьове стиснення, позацентрове стиснення.

Yaremenko OLENA, Balduk PAVLO

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

CALCULATION OF OFFCENTRALLY COMPRESSED ELEMENTS

A large number of calculation formulas have been proposed to describe the deformation diagrams of masonry and concrete. The data indicate the possibility and expediency of using full masonry deformation diagrams to calculate the strength and deformations of stone and reinforced stone pillars. Experimental samples and stone pillars were tested. The samples were of five types and differed among themselves in the location of reinforcement and the reinforcement ratio, as well as in the method of loading - axial or off-center compression with different eccentricity.

In the paper, experimental and calculated longitudinal deformations of masonry and reinforcement for samples of different groups. These data testify to the possibility and expediency of using full masonry deformation diagrams to calculate the strength and deformations of stone and reinforced stone pillars. As the amount of reinforcement in the stretched zone increases, most of the section works on the descending branch of the diagram. The size of the compressed zone increases, which is equivalent to a decrease in eccentricity. Reinforcement of the compressed zone with reinforcement increases the strength of sections with double reinforcement. The shapes of the stress profiles in the masonry practically do not depend on the presence of compressed reinforcement.

The calculation establishes the expediency of the installation and the degree of saturation of the stretched and compressed cross-sectional areas with reinforcement.

At small eccentricities, when the force is applied within the core of the section, saturation of the compressed zone with reinforcement leads to a noticeable increase in the strength of the section. At large eccentricities, saturation of the compressed zone with reinforcement is ineffective.

Keywords: deformation diagrams, masonry, concrete, axial compression, eccentric compression.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Кам'яна кладка аналогічно бетону добре опирається зусиллям, що стискають, і незначно - розтягуючим зусиллям. У зв'язку з цим застосовують армування кам'яних конструкцій. Розрізняють армокам'яні та комплексні конструкції [1]. До перших відносять конструкції, в яких арматура розташовується у швах кладки або борознах у шарі розчину. До других - кам'яні конструкції, посилені залізобетоном. Армокам'яні та комплексні конструкції мають багато спільного. Дати кордон між ними важко. Тому надалі називатимемо ті й інші армокаменними конструкціями.

Для опису діаграм деформування кам'яної кладки та бетону запропоновано велику кількість розрахункових формул [2..3]. Наведено опис дослідних зразків та деяких результатів експериментальних досліджень міцності та деформацій армокам'яних стовпів, виконаних В.А. Камейко [4]. Було випробувано 46 дослідних зразків - армокам'яних стовпів з проектними розмірами 145x51x51 см. Зразки були п'яти типів, 17 груп і розрізнялися між собою розташуванням арматури та коефіцієнтом армування, а також способом навантаження - осьове або позацентрове стиснення з різним ексцентриситетом.

Аналіз досліджень та публікацій

В роботі наведено дослідні та розрахункові поздовжні деформації кладки та арматури для зразків різних груп зібрані на рис. 2, 3, 4. Ці дані свідчать про можливість та доцільність застосування повних діаграм деформування кладки до розрахунку міцності та деформацій кам'яних та армокам'яних стовпів.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: встановлення доцільності установки та ступінь насичення арматурою розтягнутої та стисненої зон перетину.

Виклад основного матеріалу

Армування розтягнутої зони суттєво збільшує міцність перерізу. Міцність армокам'яних стовпів, завантажених з ексцентриситетом $e_0=20$ см ($0,4h$) зі збільшенням відсотка армування в інтервалі 0,09; 0,23; 0,47; і 0,7% збільшилася відповідно до 1,46; 1,75; 1,96 та 1,98 рази в порівнянні з міцністю кам'яних стовпів, завантажених з таким же ексцентриситетом (рис.1).

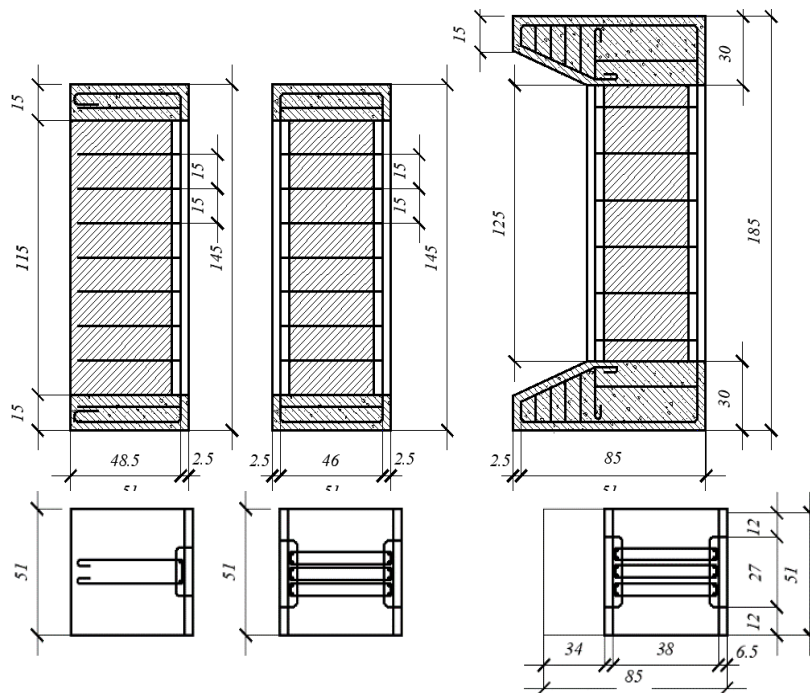


Рис.1. Проектні розміри дослідних зразків В.О. Камейко

Аналізом експериментальних та розрахункових даних встановлено наступне.

Зі збільшенням кількості арматури у розтягнутій зоні більша частина перерізу працює на низхідній гілці діаграми. Збільшується розмір стиснутої зони, що еквівалентно зменшенню ексцентриситету e_0 . У діапазоні $\mu = 0,47 \div 0,7\%$ збільшення міцності несуттєве; насичення арматурою розтягнутої зони доцільно, поки напруги в розтягнутій арматурі в момент руйнування досягають плинності.

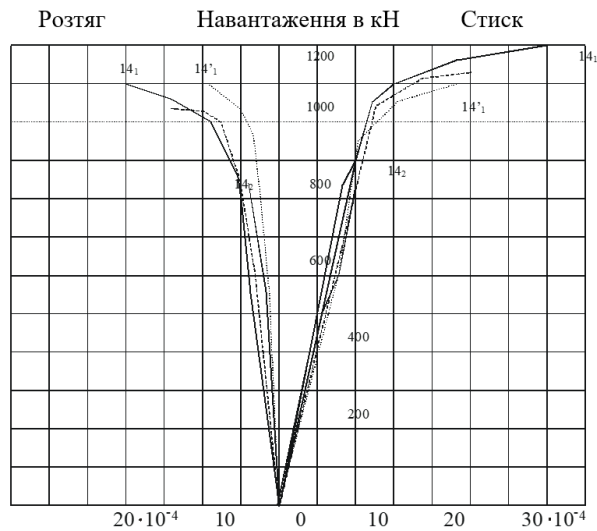


Рис. 2. Поздовжні деформації кладки та арматури зразків групи 12

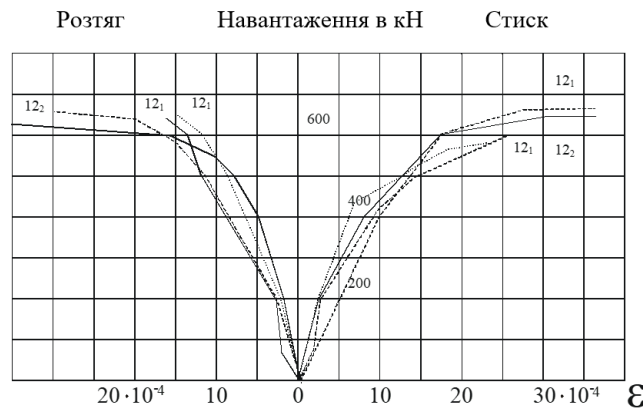


Рис. 3. Поздовжні деформації кладки та арматури зразків групи 14

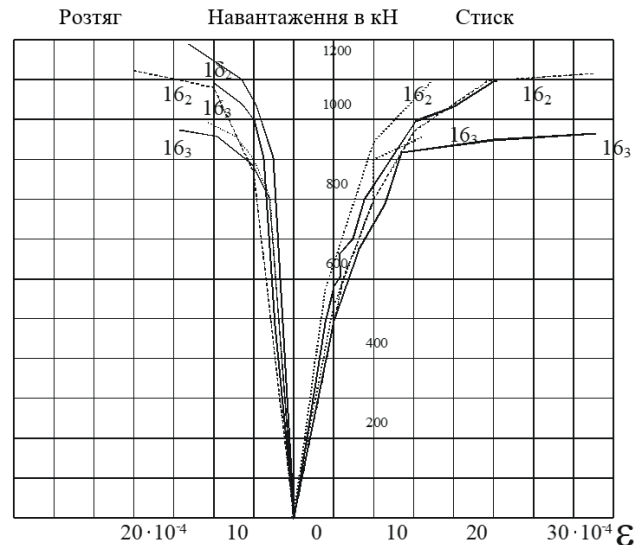


Рис. 4. Поздовжні деформації кладки та арматури зразків групи 16

На рис. 2,3,4 прийняті позначення деформація арматури, _____ деформація кладки, - - - - розрахунок.

Посилення стиснутої зони арматурою збільшує міцність перерізів з подвійним армуванням у порівнянні з міцністю перерізів з одиночним армуванням для інтервалу $\mu = \mu' = 0,09; 0,23; 0,47$; і $0,7\% - 1,09; 1,13; 1,3$ та $1,47$ рази відповідно. Форми епюр напруги в кладці практично не залежать від наявності стиснутої арматури.

Несуча здатність кам'яних стовпів при осьовому стиску становить 1500 кН.

Дані про розрахункову несучу здатність стовпів, навантажених з різним ексцентриситетом прикладеної стискаючої сили наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Розрахункова несуча здатність N_p кН армокам'яних стовпів перетином $0,51 \times 0,51$ м при різних ексцентриситетах навантаження

e_0/h	μ	0	0	0	0	0,09	0,23	0,47	0,7
	μ	0,09	0,23	0,47	0,7	0,09	0,23	0,47	0,7
0,2	N_p кН	1158	1180	1232	1239	1234	1377	1614	1774
0,4		588	733	871	870	641	871	1146	1282
0,6		253	432	602	746	265	502	775	938
0,8		143	278	435	552	147	304	539	707

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розрахунком встановлюється доцільність установки та ступінь насичення арматурою розтягнутої та стиснутої зон перетину.

При малих ексцентриситетах ($e_0 = 10$ см), коли сила прикладається в межах ядра перерізу, насичення арматурою стиснутої зони призводить до помітного збільшення міцності перерізу. При великих ексцентриситетах ($e_0 = 40$ см) насичення арматурою стиснутої зони малоефективне.

Література

1. Єременок П.Л., Єременок І.П. Кам'яні та армокам'яні конструкції. -Київ: Вища школа, 1981. - 224 с.
2. Довідник проектувальника промислових, житлових та громадських будівель та споруд. кам'яні та армокам'яні конструкції. Под ред. Семенцова С.А. и Кameйко В.А. -М.:Стройиздат, 1968. -175с.
3. Столяров Я.В. Введение в теорию железобетону. -М. -Л.:Госстройиздат, 1941. -446с.
4. Кameйко В.А. Дослідження міцності та деформацій армокам'яних конструкцій. / У зб. Дослідження з кам'яних конструкцій. – М.: Госстройиздат, 1950, с.123-152.

References

1. Yeremenok P.L., Yeremenok I.P. Kam'yani ta armokam'yani konstruktsiyi. -Kyyiv: Vyshcha shkola, 1981. - 224 s.
2. Handbook of designers of industrial, residential and public buildings and structures. stone and decorative stone structures. Ed. Sementsova S.A. and Kameyko V.A. - M.: Stroyizdat, 1968. - 175p.
3. Stolyarov Ya.V. Introduction to the theory of reinforced concrete. - M. -L.: Gosstroyizdat, 1941. -446p.
4. Kameiko V.A. Study of the strength and deformations of stone constructions. / In the collection Research on stone structures. - M.: Gosstroyizdat, 1950, pp. 123-152.

Рецензія/Peer review : 21.06.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.

КУЛЕШОВА С. Г.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2361-2950>e-mail: kuleshovas@khmnu.edu.ua

КОЗАРЬ О. П.

Мукачевський державний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6649-1699>e-mail: okoza68@gmail.com

МАНДЗЮК І. А.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-1899-9778>e-mail: mandziukih@khmnu.edu.ua

КОЛЬОРО-ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК СКЛАДОВА БРЕНД-КОЛОРИСТИКИ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ

Стаття присвячена вирішенню завдання аналізу сутності, особливостей та правил бренд-колеристики як інструменту впливу на цільову аудиторію fashion-бренда. Запропоновано підходи до застосування мобільних додатків, як кольоро-інформаційних технологій для розробки бренд-колеристики проектного образу моделі одягу.

Ключові слова: fashion-бренд, бренд-колеристика, перцепція кольору, кольоро-інформаційні технології

Svitlana KULESHOVA

Khmelnitskyi National University

Oksana KOZAR

Mukachevo State University

Igor MANDZYK

Khmelnitskyi National University

COLOR-INFORMATION TECHNOLOGIES AS A COMPONENT OF BRAND-COLORISTIC OF SEWING PRODUCTS

The article is devoted to solving the task of analyzing the essence, features, and rules of brand coloristic as a tool for influencing the target audience of a fashion brand. The authors proposed approaches to using mobile applications as color information technologies to develop brand coloristic of the projected image of a clothing model.

As a result of the conducted research, a color design strategy for fashion brand garments was developed. The essence of a comprehensive study of color perception: its theory and practice, personalities, institutions, semantics, and the use of color information technologies for developing brand coloristic of the projected image of a clothing model is substantiated. The interaction of color in art, design, advertising, and science has been proven. Based on consumers' physiological, emotional, intellectual, and behavioral reactions to color, a comprehensive system, "The meaning of color," is proposed. The motives and behavioral mechanisms of consumers in the fashion industry have been studied, and the factors affecting the purchase decision have been determined. This made it possible to represent the information model of the reaction to the garment, as a component of the clothing color design strategy, by including subsets of stimuli and emotions in the design-projection process. The main rules of modern brand coloristic were analyzed and applied using modern color information technologies in the form of a ready-made Color Gear mobile application. The proposed process of using current color and information technologies to harmonize the graphic fashion image allows you to get an individual coordinated project image with a planned impression. Thus, it has been proven that the elements of brand color are an essential factor that affects the consumer's perception of fashion brands and, as a result, sales and profits. Broad prospects for further development of the author's mobile application for harmonizing clothing colors have been revealed, especially when it comes to finding a new color project image because the competition of fashion brands is active and demanding at the current stage.

Keywords: fashion brand, brand color, color perception, color information technology

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Однією із вирішальних компонент, що формують конкурентні переваги підприємства, виступає лояльність споживачів. Світовий fashion-ринок – це великий економічний сектор, в який входять компанії, націлені на випуск одягу, взуття, аксесуарів, а також фірми, що займаються їх збутом. Стратегічне маркетингове управління fashion-брендами в fashion-індустрії є актуальною науковою проблемою, що має високу практичну значимість в ринкових умовах [1].

У сучасних умовах конкурентних ринків склався цілий напрям маркетингових комунікацій – брендинг як набір колірних, графічних, словесних, друкарських, дизайнерських констант, що забезпечують візуальну й змістовну єдність товарів (послуг), усієї вихідної від фірми інформації, її внутрішнього та зовнішнього оформлення [2]. Експериментально доведено, що 93% споживачів приймають рішення про покупку, ґрунтуючись на візуальних факторах, основним з яких є колір [1, 2]. Тому вивчення феномену перцепції (сприйняття) кольору з орієнтацією на застосування сучасних кольоро-інформаційних технологій для бренд-колеристики як інструменту впливу на цільову аудиторію fashion-бренда є актуальним.

Аналіз останніх джерел

Аналіз останніх досліджень та публікацій показує, що на сьогодні існують лише загальноприйняті в літературі з реклами та психології рекомендації про дію кольорів на споживача [3-5]. Питаннями емоційного впливу кольору на людину займалися такі практики та теоретики мистецтва як Леонардо да Вінчі, Гете,

Делакруа, Дерібере, Алпатов, Грабар, Юон, Вебстер Фрлінг, Ауер [3, 4]. На основі досліджень вчених М. Люшера, Б. А. Базими, В. В. Драгунського, А.Г. Шмелева, зібрана база кольорних уподобань, які пов'язані з психофізіологічними особливостями особистості [4, 5]. Таким чином, доведено комплексний вплив параметрів кольорних якостей на зорову систему людини, який надає глибокі асоціативні та психофізіологічні почуття, проте не розкрито структуру потенційних семантичних ознак значення кольору по асоціюванню і семантичному шкалюванню кольорів.

Проблеми впливу кольору на ефективність продажів досліджені у працях таких вчених, як Печенюк Т., Мокшанцев Р. [1], Нестеренко О., Миронова Л., Семенихін П. [2] тощо. Проте в Україні ще недостатньо розвинена тема стосовно впливу кольорів на цільову аудиторію fashion-брендів. Потребують подальшого вивчення специфіка та результативність такого впливу, що становить інтерес із точки зору ефективності продажів товарів fashion-брендів.

Огляд сучасних досліджень також дав змогу охарактеризувати особливості ринку мобільних технологій у легкій промисловості [6, 7]. Автори наводять їх класифікації за різними критеріями, проте без акцентування уваги на особливостях їх роботи в повсякденному житті спеціалістів швейної галузі.

Формування цілей статті

Мета статті – визначення стратегії кольорного проектування швейних виробів fashion-брендів на основі вивчення поведінки споживачів на fashion-ринку та розробка рекомендацій щодо удосконалення споживчих мотивацій ринку брендового одягу.

Об'єктом дослідження є процес кольорного проектування швейних виробів на засадах бренд-колористики з використанням кольоро-інформаційних технологій. Предметом дослідження є візуальна мова та функції кольору для подальшого розроблення рекомендацій з використання кольорів у просуванні fashion-бренда.

Теоретичною і методичною основою дослідження стали праці зарубіжних та вітчизняних вчених з проблем бренду, просування бренду, розвитку fashion-ринку брендового одягу. Методологія базується на міждисциплінарному підході, який дозволяє всебічно вивчити колір і визначити його вагому експресивну роль у сучасних візуальних презентаціях модних інновацій fashion-брендів. Для створення візуальних зображень було задіяно комп'ютерний графічний редактор Xara Designer Pro X 19 Free Trial та мобільний додаток Color Gear.

Виклад основного матеріалу

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання: 1) визначити стратегію кольорного проектування швейних виробів fashion-брендів на основі дослідження психології перцепції і виявити асоціації у цільовій аудиторії з кольором; 2) визначити, які кольори привертають увагу до fashion-брендів і як вони діють на рішення споживачів щодо купівлі швейних виробів; 3) проаналізувати основні правила сучасної бренд-колористики і застосувати їх з використанням сучасних кольоро-інформаційних технологій.

Формування стратегії кольорного проектування швейних виробів fashion-брендів

Новітнім способом виділення свого товару серед інших подібних стала бренд-колористика – маркетинговий інструмент впливу на цільову аудиторію через вивчення психології сприйняття кольорів споживачами та застосування у рекламній діяльності тих, що викликають позитивні асоціації [2]. Результати даного дослідження покликані допомогти дизайнерам fashion-брендів «одягнути» свій продукт у той чи інший колір з огляду на максимальну вигоду та ефективність.

Проблеми колористичного проектування моделей одягу визначаються специфікою перцепції кольору. У галузі науки про колір зібрана значна за обсягом інформація, але відсутня цілісність синергетичного підходу до аспектів сприйняття кольору. На основі попередніх досліджень авторів [5, 9, 10] сформовано ієрархічну функціональну структуру кольорного значення (табл. 1).

Таблиця 1

Ієрархічна динамічна функціональна структура кольорного значення моделі одягу

Ієрархічна динамічна функціональна структура кольорового значення моделі одягу																											
Рівень: стан сприйняття кольору		1. Емоційний									2. Фізіологічний									3. Фізичний							
Підрівень		Фактор емоційно-естетичного впливу: Емоційно-естетичний колір									Фактор психофізіологічного комфорту: Фізіологічний колір									Фактор візуальної інформації: Фізичний колір							
Елементи підрівня		Інтелектуальне значення			Емоційне значення			Фізіологічне значення			Випромінювання електромагнітного спектра			Зорова система споживача			Об'єкт сприйняття			Склад		Характеристики		Назва			
Складові елементів підрівня	Колір-знак	Колір-символ	Колір-традиція	Емоційний стан – настрої (потреби характеру)	Естетична оцінка (предметність відчуття)	Конотативне значення	Зорові відчуття	Колірна синестезія	Асоціювання	Джерело випромінювання	Потік випромінювання	Поверхня об'єкта	Колірний аналізатор	Зорова зона мозку	Зорове враження	Вид	Форма	Матеріал	R – червоний (red)	G – зелений (green)	B – синій (blue)	Світлота	Яскравість	Насиченість	Ахроматичний	Хроматичний	Суміш

Згідно з [4, 5], основними станами формування кольору моделі одягу, є: 1) фізичний стан – формування характеру випромінювання; 2) фізіологічний стан – робота органу зору; 3) емоційний стан – робота розуму людини. Сформоване значення кольору визначають рівні вивчення кольору [5], які наведені в табл. 2. На першому рівні представлені галузі знання, що відповідають емоційному рівню сприйняття у структурі, на другому рівні – фізіологічному рівню сприйняття, на третьому – фізичному рівню сприйняття.

Таблиця 2

Рівні вивчення кольору

№ рівня	Галузь знання	Етап формування уявлень про колір	Наукова проблема
1	Семіотика	Виникнення елементів пам'яті	Колір, як знак
			Колір, як символ
			Традиції кольору
	Семантика	Усвідомлення кольору на вербальному рівні	Імпресія кольору
			Термінологія кольору
			Колірні словники
	Естетика	Формування естетичних почуттів	Експресія кольору
			Образність кольору
			Колірні гармонії
	Психологія	Виникнення зорових відчуттів (зорові кольорові ілюзії)	Кольорові контрасти
			Іррадіація
			Оптико-геометричні ілюзії
		Виникнення відчуттів у інших органах чуття (синестезія)	Кольорові асоціації температури
			Кольорові асоціації об'єму і маси
			Кольорові асоціації смаку і запаху
2	Хімія	Змінний потік випромінювання	Асоціації позитивні
			Асоціації негативні
			Асоціації нейтральні
	Фізіологія	Подразнення сітківки ока	Джерело випромінювання
			Оптичне змішування кольорів
			Колориметрія
		Передача зорової інформації до головного мозку	Адаптація ока
			Втомленість зору
3	Типологія	Логічна обробка інформації про колір	Дефекти зору
			Три компонентна теорія колірного зору
			Константність колірного зору
			Розрізненість кольорів
			Нормування кольору

Для визначення стратегії колірного проектування швейних виробів fashion-брендів застосований принцип рівнів формування сприйняття кольору, наведених в табл. 3. На першому рівні проектування кольору представлені рівні формування сприйняття кольору, що відповідають емоційно-естетичному рівню сприйняття у структурі (див. табл. 1), на другому рівні проектування кольору – фізіологічному рівню сприйняття, на третьому рівні – фізичному рівню сприйняття.

Таблиця 3

Рівні проектування кольору

Рівень проектування	Рівень формування сприйняття кольору	Наукова проблема
1	Мовні та знакові структури	Використання комунікативних властивостей кольору
		Розробка колірної реклами
		Розробка колірного кодування і словників кольору
	Естетичні почуття	Створення гармонійного проектного колірного образу (ПКО)
		Композиційне проектування ПКО з запланованим враженням
		Формування колірних гармоній проектних образів
	Зорові відчуття, емоції	Використання кольорових асоціацій
		Виявлення та формування колірних переваг споживача
2	Поглинання, відбиття та розсіювання випромінювання	Тестування споживача кольором
		Розробка колірних рецептів
		Розробка нових технологій фарбування
	Сітківка ока та передача зорової інформації до головного мозку	Проектування кольорових ефектів поверхні матеріалів
		Розробка оптимальних для людини умов сприйняття кольору
		Використання кольорових порогів та кольорової відмінності для аналізу ПКО
3	Логічний	Використання кольорових порогів та кольорової відмінності для розробки ПКО
		Розробка колірних каталогів та еталонів
		Стандартизація кольору

Таким чином доведено, що колірне проектування моделей одягу пов'язано не з окремою наукою про колір, а охоплює фактично всі рівні вивчення кольору. У цьому полягає специфіка колірного проектування. Тому проблеми колористики проектування швейних виробів слід вирішувати комплексно з врахуванням всіх рівнів формування та сприйняття кольору. Особливо важливим для вирішення проблем соціально-споживчого комплексу є створення комфортних умов сприйняття кольору в одязі. Структурна модель сприйняття кольору одягу людиною наведена на рис. 1. Отже, колір швейних виробів, викликає необхідність його розгляду у системі «культура – соціум – виробництво» [3]. Тоді проблематика кольору досліджується у трьох аспектах складових системи, структура яких наведена на рис. 2.

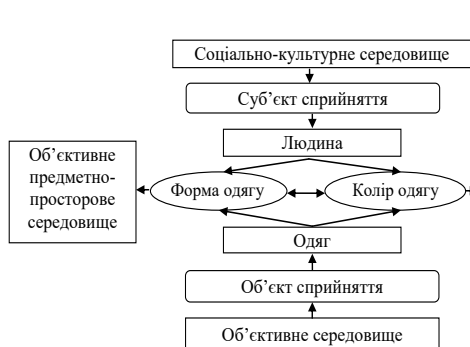


Рис. 1. Структурна модель сприйняття кольору

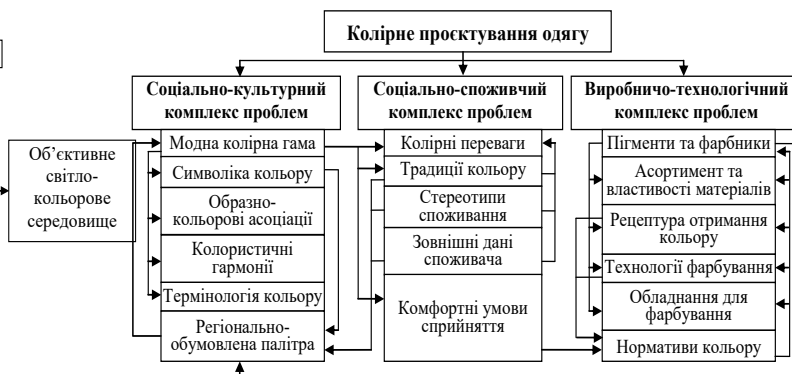


Рис. 2. Три комплекси проблем у системі колористичного проектування одягу

Таким чином, розгляд моделі сприйняття кольору проектуємих швейних виробів визначає необхідність наступних досліджень:

- взаємозв'язок кольору швейного виробу з його навколишнім предметно-просторовим, світло-кольоровим та соціально-культурним середовищем;
- моделювання реакції споживача на проєктовану колористику виробу;
- визначення колірних переваг споживача з позицій не лише індивідуальності особистості, але й цільової споживчої групи.

Вибір фірмових кольорів fashion-брендів

Проблема вибору фірмових кольорів особливо складна для fashion-брендів, оскільки вони розробляють і продають «модні» товари. З одного боку, фірмовий стиль – це постійність, з іншого боку, мода – це зміни. Для забезпечення стильової єдності потрібно використовувати одні й ті самі кольори, але також необхідно враховувати модні кольори кожного нового сезону [1, 2]. З цієї суперечності виходять, користуючись загальними рекомендаціями по особливостям психології перцепції кольорів споживачами.



Рис. 3. Модні кольори сезону 2022 від Pantone

У феномені перцепції кольору [9], колорит проєктного образу моделі одягу відображає емоційний стан споживача як свій специфічний предметний зміст, а в феномені колірної атрибуції предметним змістом колірної портрета є емоційне ставлення до оцінюваного. Іншими словами, весь спектр реакцій на колір: фізіологічних, емоційних, інтелектуальних, поведінкових, і являє собою зміст колірної значення. В табл. 4 наведено фрагмент, запропонованої авторами комплексної системи «Значення кольору», у відповідності до модних кольорів від Pantone [5, 9, 10, 11].

Огляд досліджень [1-3, 5, 9, 10, 11] дав змогу охарактеризувати особливості поведінки споживачів fashion-індустрії та виявити чинники, що впливають на рішення споживачів про покупки модних товарів fashion-брендів. Виявлено, що вплив кольорів на споживача залежить від його вікової групи, від рівня його доходу, а також освітнього рівня. Чим вищий освітній рівень, тим більша перевага в нижніх кольорах, така сама тенденція простежується в сегментах із високим доходом.

Сфера споживчої поведінки в fashion-індустрії знаходиться на перехресті багатьох дисциплін: маркетингу, психології, психології моди, соціології, економіки та бізнесу [10, 11] та ін. Проведений теоретичний аналіз дав змогу виділити такі основні мотиви купівлі одягу: потреба домінування, комфорт, пошук новинок (інтерес до нового), задоволеність, належність до певної соціальної групи, економіка, безпека тощо. Таким чином, кожен тип споживача описується виходячи з трьох груп характеристик: А) загальні соціальні особливості типу – характеристика класу споживачів (вікові, гендерні, фінансові, сімейні

Наприклад, загальновідомий інститут кольору Pantone кожен сезон публікує каталог модних кольорів, який доповнено емоційним словником колірних композицій [11], рис. 3. В сезоні 2022 ключові вирази: Піднесеність та легкість / Романтизм та мрійливість / Радість та задоволення. Це дозволяє сформулювати наступне твердження: значення кольору це складна відкрита система, що формує структуру колірної образу моделі одягу, яка складається з різних типів значень, які сформовані в процесі культурно-історичної практики людства і зафіксовані у формі понять, знань, способу дій, норм поведінки, тощо.

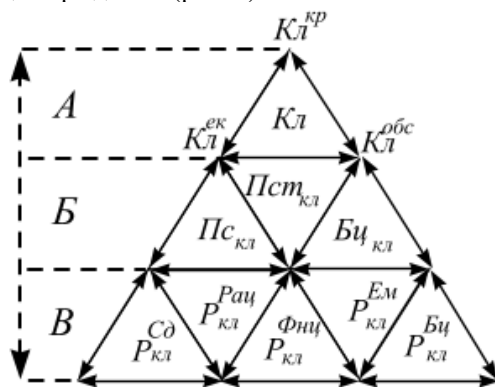
характеристики); Б) психологічний портрет типу ($Пс^n$) – загальні психологічні особливості типу, що не відносяться до споживання, та базові цінності (на основі особистісних тестів); В) особливості споживчої поведінки або споживчих відносин (ціннісні, мотиваційні критерії вибору модного продукту).

Таблиця 4

Складові значення кольору (фрагмент)

Колір	Перше відчуття	Психологічне сприйняття	Основне символічне значення, знаково-комунікативний зміст	Концепція М. Люшера		Суб'єктивне психологічне значення
				Структура кольору	Функція кольору	
Голубий	Чистий, вільний, небесний, зачаровує	Спокійний, повітряний, прозорий	Чистота, розум, ніжність, доброчесність, романтичність, світ, вічність	Концентричний, гетерономний, приємний, ласкавий, затишний, спокійний, тихий, скромний	Глибокий, романтичний, казковий, поетичний	Розсіює тривогу, знімає стан гніву. Колір чистого розуму і духовної бадьорості, сприяє розвитку творчих здібностей і зосереджує увагу
Синій	Глибокий, дощовитий	Строгий, таємничий, елегантний, чоловічий	Сила, честь, вірність, щирість, бездоганність, непорочність, веселіт	Концентричний, гетерономний, глибина почуттів, спокій, задоволення, єднання, зв'язок, розширення	Прагнення до спокою, потреба в розумінні, прагнення до гармонії, чутливість	Інтровертованість, вдумливість, конформність установок, прагнення до стабільності, меланхолічність
Фіолетовий	Строгий, сумний, втомлює	Напружений, таємничий, зухвалий, церемоніальний	Смуток, печаль, меланхолія, мудрість, зрілість, благородство, панування, вищий розум, космічний простір	Концентричний, гетерономний, оригінальність, меланхолія, таємничість	Похмурий самотній, самотійний, сутінковий	Підкреслений індивідуалізм, оригінальність мислення, Емоційна нестійкість, імпульсивність, підвищена естетична чуйність, здатність до незалежних оцінок
Рожевий	Романтичний, жіночний	Ніжний, таємничий, м'який	Чарівний, ніжний, милий, вишуканий, жіночний, романтичний	Концентричний, потайний, невинність, чарівність, вразливість	Делікатність і спокій, солодкий, омолоджує, знімає дратівливість	Прагнення до гармонії і спокою, жіночність, емоційність, врівноваженість, тактовність, комунікабельність,

В ієрархії підходів до позиціонування товару базові цінності займають верхній рівень. Рівні позиціонування (поведінка споживача) за технологією компанії Work Line Research «5 Level Positioning (5LP)» [10] наступні: 5. Рівень цінностей. 4. Емоційний рівень. 3. Функціональний рівень. 2. Раціональний рівень. 1. Соціально-демографічний рівень. Вибір моделі об'єднання груп характеристик споживачів ілюструє принцип триадності (рис. 4).



Умовні позначення:

$Кл$ – клас споживача: $Кл^{кр}$ – креативний, $Кл^{ек}$ – економічний, $Кл^{обс}$ – обслуговуючий;
 $Пс_{кл}$ – психологічні особливості особистості класу;
 $Пст_{кл}$ – категорія психотипу класу;
 $Бц_{кл}$ – базові цінності класу;

Особливості споживчої поведінки:

$Р_{кл}^{Со}$ – соціально-демографічний рівень класу;

$Р_{кл}^{Рац}$ – раціональний рівень класу;

$Р_{кл}^{Фнц}$ – функціональний рівень класу;

$Р_{кл}^{Ем}$ – емоційний рівень класу;

$Р_{кл}^{Бц}$ – ціннісний рівень класу.

Рис. 4. Графічна модель класової стратифікації споживачів

Математичний опис зв'язків в групах А, Б, В графічної моделі (рис. 4) представлено операціями об'єднання:

$$A \equiv Кл \in \{Кл^{ек}, Кл^{кр}, Кл^{обс}\}, \quad (1)$$

$$B \equiv Пс^n \supseteq Пс_{кл} \cup Пст_{кл} \cup Бц_{кл}, \quad (2)$$

$$B \equiv Пс^{nv} \supseteq Р_{кл}^{Со} \cup Р_{кл}^{Рац} \cup Р_{кл}^{Фнц} \cup Р_{кл}^{Ем} \cup Р_{кл}^{Бц}, \quad (3)$$

де $Пс^{nv}$ – психологічні особливості споживчої поведінки.

Це дозволило інформаційну модель реакції на швейний виріб, як складову стратегії колірного проектування одягу, представити включеннями підмножин подразників і емоцій в процес дизайн-проекування (ДП):

$$ДП \supseteq E \cup T \cup Кл \cap I \cup Пв \cup Сн \cap Р \cup П, \quad (4)$$

де подразник (стимул): E – економічний; T – технічний; $Kл$ – культурний. I – інтуїтивні; $Пв$ – поведінковий; $Сп$ – споглядальний.

Емоції споживача: P – реакція; $П$ – перцепція.

Отже процес сприйняття – перцепція ($П$) як функцію підмножин враження (I_O) доцільно розглянути на основі виявлення мотиваційних характеристик поведінки споживачів:

$$П = fI_O. \quad (5)$$

Таким чином, основним вектором інтегративного застосування вражень від моделі одягу для оцінки прихованого попиту споживачів є осмислення різних властивостей предмета через його сприйняття в ході прийняття проектних рішень.

Аналіз основних правил сучасної бренд-колористики і застосування їх з використанням сучасних кольоро-інформаційних технологій

У дослідженнях [2] виокремлено основні правила сучасної бренд-колористики:

1) **Правильне співвідношення кольору і позиціонування продукту.** Позиціонування продукту повинне мати відповідне колірне вирішення.

2) **Відповідна гармонія кольорів.** Кожна з них рекомендована певним типам товарів і характеристикам брендів: - *монохромність*. Застосовується у фірмовому стилі товарів середнього та преміум-сегментів;

- *декілька кольорів у одній гамі*. Спокійні кольори, характерні для сегмента upper- middle і premium;

- *багатоколірність*. Яскраві відтінки часто характерні для оформлення дитячих і підліткових брендів. Їх девіз – гра і динаміка;

- *природні кольори*. Фізіологи стверджують, що натуральні кольори запам'ятовуються краще.

3) **Прийняття до розгляду механізмів, які збільшують комунікаційний ефект.** Контрастність посилює колір, насичені кольори створюють «живе враження», співвідношення суміжних за колірною гамою і відтінками кольорів дає відчуття спокою, колірний дисонанс привертає увагу, але може викликати негативну реакцію;

4) *відсутність проблемних кольорів*;

5) **правило контексту.** Колір залежить від контексту, що його оточує. Це не тільки інші кольори, але й специфіка навколишнього середовища й носія комунікаційних повідомлень. Те, що мало гарний вигляд на екрані комп'ютера чи аркуші паперу, буде зовсім по-іншому сприйматися на моделі одягу;

6) *необхідність руйнування стереотипів*.

7) **Культурне підґрунтя.**

Аналіз наведених правил підтверджує, що сьогодні колір – ще й соціологічний фактор, який визначає настрої суспільства, що формується економікою, політикою, екологією, наукою, мистецтвом. Аналізуючи суспільні настрої, прогностисти пропонують напрямки моди, яка формується, перш за все, концепціями кольорів, новими матеріалами й інноваційними технологіями.

Розглянемо застосування правил бренд-колористики для розробки гармонійного проектного колірної образу моделі одягу із використанням готових мобільних додатків, як кольоро-інформаційних технологій.

За допомогою пошуку у Google Play Market та App Store за ключовими словами «wardrobe», «гардероб», «іміджкоузінг», «модні кольори одягу», «гармонія кольорів» та інших слів-синонімів було виявлено всього 6 мобільних додатків, які можуть бути кваліфіковані як додатки для аналізу та створення гармонійних палітр кольорів, рис. 5, 6.

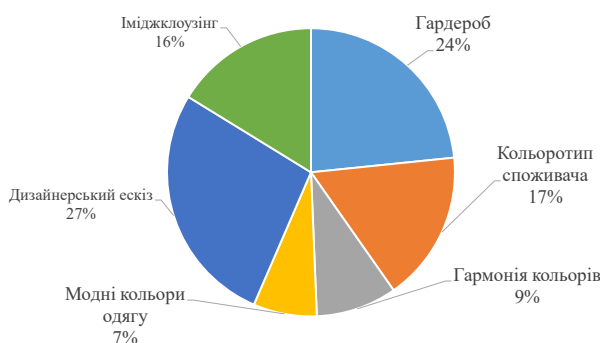


Рис. 5. Найбільш заповнені категорії додатків швейної промисловості

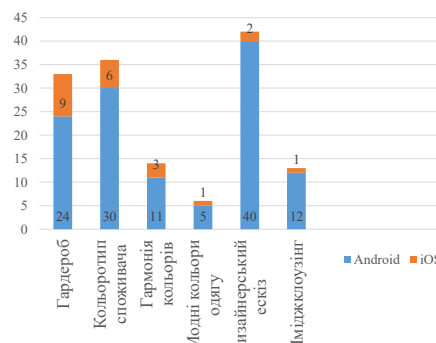


Рис.6. Співвідношення категорій мобільних додатків: система Android система iOS

На основі моніторингу 6 існуючих мобільних додатків у сфері колористики обрано додаток Color Gear: палітра кольорів, який позиціонується як зручний інструмент для створення гармонійних поєднань кольорів. Додаток підтримує дві моделі кольору – RGB коло та RYB коло (модель Іттена). RGB модель призначена для використання в цифровому дизайні. Для обох моделей завжди доступно 10+ схем гармонійних поєднань. Додаток дозволяє аналізувати зображення за допомогою інструменту вибору кольору, алгоритми додатку формують палітру основних кольорів (рис. 7 а). Також присутні функції:

Розширене редагування кольорів; Перегляд у форматі: «композиція», «градієнт», «гармонія»; Збереження палітри (рис. 7 б) [13].

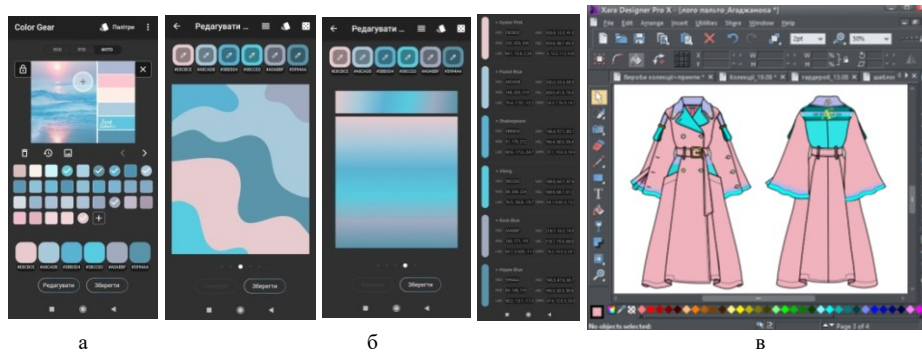


Рис. 7. Візуалізація процесу розробки гармонійного проектного кольорового образу моделі одягу: а) – аналіз зображення, б) – функції додатку, в) – ескізи виробу в модних кольорах від Pantone

Особливо зручно є функція Інформація про кольори, яка формує Координати кольору у вигляді 6 форматів: HEX, LAB, RGB, HSV, HSL, CMYK. Наступним кроком було застосування універсальної програми векторної комп'ютерної графіки Xara Designer Pro X 19 Free Trial для використання в якості програмного забезпечення автоматизованого робочого місця модельєра та розробка методики створення шаблонів з графічними образами виробів, а також методики каталогізації проектних образів виробів та їх візуалізації в колористичному ескізному проекті швейного виробу із застосуванням модних кольорів сформованої палітри з додатку Color Gear (рис. 7 в), таблиця 5.

Таблиця 5

Каталог кольорів

Назва кольору	Координати кольору					
	HEX	RGB	LAB	HSV	HSL	CMYK
Oyster Pink	E8CBCE	232, 203, 206	84.1, 10.6, 2.3	353.8, 12.5, 91.0	353.8, 38.7, 85.3	0.0, 12.5, 11.2, 9.0
Pastel Blue	A8CADB	168, 202, 219	79.4, -7.6, -12.2	200.0, 23.3, 85.9	200.0, 41.5, 75.9	23.3, 7.8, 0.0, 14.1
Shakespeare	5BB3D4	91, 179, 212	68.9, -17.0, -24.7	196.4, 57.1, 83.1	196.4, 58.5, 59.4	57.1, 15.6, 0.0, 16.9
Viking	58CCE0	88, 204, 224	76.5, -26.8, -19.7	188.8, 60.7, 87.8	188.8, 68.7, 61.2	60.7, 8.9, 0.0, 12.2
Rock Blue	A0ABBF	160, 171, 191	69.7, 0.3, -11.5	218.7, 16.2, 74.9	218.7, 19.5, 68.8	16.2, 10.5, 0.0, 25.1
Hippie Blue	5994AA	89, 148, 170	58.2, -13.1, -17.5	196.3, 47.6, 66.7	196.3, 32.3, 50.8	47.6, 12.9, 0.0, 33.3

Використання готових цифрових інструментів, які вже існують на ринку мобільних технологій, дозволяє пропонувати технологію, яка не вимагає витрат на її впровадження; не потребує додаткового обладнання – практично у кожного співробітника fashion-брендів є смартфон. Він надає молодому спеціалісту цифровий інструмент, який дозволяє уникнути механічних помилок і полегшує процес прийняття рішень.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В результаті проведених досліджень розроблено стратегію кольорового проектування швейних виробів fashion-брендів. Обґрунтовано сутність комплексного дослідження перцепції кольору: його теорії та практики, персоналії, інституцій, семантики, застосування кольоро-інформаційних технологій для розробки бренд-колористики проектного образу моделі одягу. Доведено взаємодію кольору у мистецтві, дизайні, рекламі, науці.

На основі фізіологічних, емоційних, інтелектуальних, поведінкових реакцій споживачів на колір, запропоновано комплексну систему «Значення кольору».

Досліджено мотиви та поведінкові механізми споживачів fashion-індустрії, визначено чинники, що впливають на рішення про покупку. Це дозволило інформаційну модель реакції на швейний виріб, як складову стратегії кольорового проектування одягу, представити включеннями підмножин подразників і емоцій в процес дизайн-проектування.

Проаналізовано основні правила сучасної бренд-колористики і застосовано їх з використанням сучасних кольоро-інформаційних технологій у вигляді готового мобільного додатку Color Gear.

Запропонований процес використання сучасних кольоро-інформаційних технологій для гармонізації графічного модного образу дозволяє отримати індивідуальний гармонізований проектний образ із запланованим враженням.

Таким чином, доведено, що елементи бренд-колористики є важливим фактором, який впливає на сприйняття fashion-бренд споживачем і у підсумку – на продажі і одержання прибутків.

Розкрито широкі перспективи для подальших розробок авторського мобільного додатку для гармонізації кольорів одягу, особливо, якщо мова йде про пошук нового кольорового проектного образу, адже на сучасному етапі конкуренція fashion-брендів є активною і жорсткою.

Література

1. Формування лояльності споживачів до бренду в fashion-індустрії: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://duan.edu.ua/images/News/UA/Departments/Marketing/2021/roboty_finalistiv/FASHION-INDUSTRIYA.pdf
2. Шаповал А. Аналіз бренд-колеристики як інструменту впливу на цільову аудиторію кондитерських виробів / А. Шаповал, Т. Янчук // European Journal of Economics and Management. – 2019. – Vol 5, Issue 2. – С. 97-105. [Електронний ресурс], Режим доступу: https://eujem.cz/wp-content/uploads/2019/eujem_2019_5_2/15.pdf
3. Тканко З. Колір як засіб вираження в мистецтві та моді / З. Тканко // ВІСНИК Львівської національної академії мистецтв. Вип. 21. – 2021. – С. 128-138. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://lnam.edu.ua/files/Academy/nauka/visnyk/pdf_visnyk/21/15.pdf
4. Прищенко С.В. Колорознавство : навчальний посібник / С.В. Прищенко. – 3-тє вид., випр. і доповн. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. – 436 с., ISBN 978-617-7729-00-5.
5. Кулешова С. Г. Колір в художньому проектуванні одягу : навч. посібник / С. Г. Кулешова; за ред. д-ра техн. наук, проф. А. Л. Славинської. – Хмельницький: ХНУ, 2016. – 395 с.
6. Hong H. R. A mobile application for personal colour analysis / H. R. Hong & Y. I. Kim // Cogent Business & Management, 6: 1576828, 2019, 11 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/23311975.2019.1576828>
7. Захаркевич О. В. Обґрунтування вибору мобільних додатків для створення та упорядкування модного гардеробу / О. В. Захаркевич, Ю. В. Кошево, С. М. Лисенко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2022. – №1 (305). – С. 25-30. DOI 10.31891/2307-5732-2022-305-1-25-30
8. Torebayev B.P. Modern technological process of finishing production of textile industry: work with color / B.P. Torebayev, D.S. Bolysbayev, K.A. Zholdasbekova, M.ZH. Zhakipbekova, T.S. Burkitbayev // Industrial Technologies And Engineering (ICITE) 2019, Proceedings of VI International Conference. Шымкент, 2019. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44560940>
9. Kuleshova S. G. Image clothing as a perceptual component of clothing design / S.G. Kuleshova, A.L. Slavinska, O.V. Zakharkevich, G.S. Shvets // Textiles, clothing, leather and technologies. – 2017. – Vol. 3. – P. 12-20.
10. Kuleshova S. Improvement of the methodology for assessing the clothing psychological comfort using semantic differential / S. Kuleshova, O. Zakharkevich, Y. Koshevko, G. Shvets // Vlákna a textil, 28(1), 2021. – № 1. – P. 45-55. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://vat.ft.tul.cz/2021/1/VaT_2021_1_6.pdf
11. Модні кольори 2022-2023 в жіночому одязі за версією Pantone, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avers.ua/news/kolyori-2022-roku-pantone-opublikuvav-prognozi>
12. Pashkevych K. L. Research Of Ukrainian Fashion Industry Goods Consumers / K. L. Pashkevych, N. A. M. O. Vyshnenska, O. O. Rogotchenko // Art and Design. – 2019. – №1. – P. 9-21. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2019.1.1>.
13. Color Gear: палітра кольорів, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://play.google.com/store/apps/details?id=design.vok.color_gear.lite&hl=uk

References

1. Formuvannya loialnosti spozhyvachiv do brendu v fashion-industrii: [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://duan.edu.ua/images/News/UA/Departments/Marketing/2021/roboty_finalistiv/FASHION-INDUSTRIYA.pdf
2. Shapoval A. Analiz brend-kolorystyky yak instrumentu vplyvu na tsilovu audytoriiu kondyterskykh vyrobiv / A. Shapoval, T. Yanchuk // European Journal of Economics and Management. – 2019. – Vol 5, Issue 2. – S. 97-105. [Elektronnyi resurs], Rezhym dostupu: https://eujem.cz/wp-content/uploads/2019/eujem_2019_5_2/15.pdf
3. Tkanko Z. Kolir yak zasib vyrazhennia v mystetstvi ta modi / Z. Tkanko // VISNYK Lvivskoi natsionalnoi akademii mystetstv. Vyp. 21. – 2021. – S. 128-138. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://lnam.edu.ua/files/Academy/nauka/visnyk/pdf_visnyk/21/15.pdf
4. Pryshchenko S.V. Koloroznavstvo : navchalnyi posibnyk / S.V. Pryshchenko. – 3-tie vyd., vypr. i dopovn. – K.: Vydavnychiy dim «Konдор», 2018. – 436 s., ISBN 978-617-7729-00-5.
5. Kuleshova S. H. Kolir v khudozhnomu proiektuvanni odiahu : navch. posibnyk / S. H. Kuleshova; za red. d-ra tekhn. nauk, prof. A. L. Slavinskoi. – Khmelnytskyi: KhNU, 2016. – 395 s.
6. Hong H. R. A mobile application for personal colour analysis / H. R. Hong & Y. I. Kim // Cogent Business & Management, 6: 1576828, 2019, 11 p. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://doi.org/10.1080/23311975.2019.1576828>
7. Zakharkevych O. V. Obgruntuvannya vyboru mobilnykh dodatkov dlia stvorennia ta uporiadkuvannya modnoho harderobu / O. V. Zakharkevych, Yu. V. Koshevko, S. M. Lysenko // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2022. – №1 (305). – S. 25-30. DOI 10.31891/2307-5732-2022-305-1-25-30
8. Torebayev B.P. Modern technological process of finishing production of textile industry: work with color / B.P. Torebayev, D.S. Bolysbayev, K.A. Zholdasbekova, M.ZH. Zhakipbekova, T.S. Burkitbayev // Industrial Technologies And Engineering (ICITE) 2019,

Proceedings of VI International Conference. Shumkent, 2019. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44560940>

9. Kuleshova S. G. Image clothing as a perceptual component of clothing design / S.G. Kuleshova, A.L. Slavinska, O.V. Zakharkevich, G.S. Shvets // Textiles, clothing, leather and technologies. – 2017. – Vol. 3. – P. 12-20.

10. Kuleshova S. Improvement of the methodology for assessing the clothing psychological comfort using semantic differential / S. Kuleshova, O. Zakharkevich, Y. Koshevko, G. Shvets // Vlákna a textil, 28(1), 2021. – № 1. – P. 45-55. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: http://vat.ft.tul.cz/2021/1/VaT_2021_1_6.pdf

11. Modni kolory 2022-2023 v zhinochomu odiazi za versiieu Pantone, [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://avers.ua/news/kolyori-2022-roku-pantone-opublikuvav-prognozi>

12. Pashkevych K. L. Research Of Ukrainian Fashion Industry Goods Consumers / K. L. Pashkevych, N. A. M. O. Vyshnevskaya, O. O. Rogotchenko // Art and Design. – 2019. – №1. – P. 9-21. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2019.1.1>.

13. Color Gear: palitra koloriv, [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://play.google.com/store/apps/details?id=design.vck.color_gear.lite&hl=uk

14.

Рецензія/Peer review : 19.06.2022 р.

Надрукована/Printed :18.08.2022 р.

ОЛІЙНИК Г. С.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6519-7938>e-mail: galina_olijnyk@ukr.net

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕР'ЄРНИХ ДЕКОРАТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ SAN MARKO

В роботі представлено дослідження, що пов'язані з використання декоративних матеріалів SAN MARKO на вітчизняному ринку для облаштування сучасних інтер'єрів. Розглянуто асортимент декоративних матеріалів, технологічні та естетичні характеристики, що відповідають сучасним трендам і відображають модні дизайнерські тенденції. Декоративні матеріали SAN MARKO набули статусу визнаного еталона мистецтва декорування і є взірцем витонченості та смаку, визнаним зразком стилю.

Ключові слова: декоративне покриття, SAN MARKO, тинтометрична система Marcromie

Halina OLIJNYK

Khmelnitskyi National University

ANALYSIS OF THE PROSPECTIVE USE OF SAN MARKO INTERIOR DECORATIVE MATERIALS

SAN MARKO decorative materials appeared on the domestic market relatively recently. The Italian brand of decorative materials is represented by a variety of paint and varnish products for interior solutions. It is difficult for the modern consumer to understand the choice of SAN MARKO decorative materials, as there is not enough information regarding the specifics of the use of these products. SAN MARKO decorative materials offer unique innovative solutions with high-quality characteristics, focused on each individual client, following current market trends in the field of interior and design. With the help of SAN MARKO decorative materials, you can create interior styles, exquisite decors, thereby not neglecting any of the client's wishes. The products of the Italian brand are not just the widest color palette, they represent unlimited possibilities for creative ideas. Decorative coatings and effects created by these materials fascinate with their originality and rich artistic content. The secret of the success of the SAN MARKO line of decorative materials lies in the fact that they offer not only unique, radically new solutions, but also maintain high quality characteristics, as well as the fact that each customer with completely different requests in terms of aesthetics and technology will find something for himself optimal material for creating an interior.

The Italian art of interior design conquered the international market, became a model of sophistication and taste, which is perceived as a globally recognized example of style. SAN MARKO decorative materials carry an important mission - they pass on to today's generation a rich heritage in which unsurpassed Italian craftsmanship techniques reproduce the age-old traditions of the southern people, updated with the help of modern materials and techniques.

SAN MARKO decorative materials are presented in a wide range of species and a rich palette of colors. This is a great modern tool for those who value creativity, sophistication, and quality. Creating a unique decor using materials from an Italian manufacturer is not just work, but the creativity of designers, master interior decorators and other professionals working with paint and varnish materials.

Key words: decorative coating, SAN MARKO, Marcromie tintometric system.

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

Декоративні матеріали SAN MARKO порівняно недавно появились на вітчизняному ринку. Італійський бренд декоративних матеріалів представлений різноманітною лакофарбовою продукцією для інтер'єрних рішень. Сучасному споживачеві важко розібратися у виборі декоративних матеріалів SAN MARKO, так як недостатньо інформації, що стосується особливостей використання даної продукції.

Аналіз досліджень та публікацій

Декоративні матеріали SAN MARKO пропонують унікальні інноваційні рішення з високоякісними характеристиками, орієнтовані на кожного окремого клієнта, дотримуючись актуальних трендів ринку в галузі інтер'єру та дизайну. Наявні відомості про декоративні матеріали SAN MARKO є недостатніми та потребують більшого висвітлення.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є дослідження ефективності використання декоративних матеріалів SAN MARKO для укомплектування інформативного ринку.

Виклад основного матеріалу

У проектуванні сучасного інтер'єру одна з головних ролей належить фарбі, її кольору та текстурі. Оригінальність дизайн - проекту залежить від матеріалів, а також ефектів, які вони здатні створити. Нова інтерпретація простору та світла робить проект сучасним, надає йому неповторності та особливого стилю. Професіонали, які працюють із лакофарбовими матеріалами, отримали унікальний інструмент від бренду SAN MARKO. З його допомогою можна створити чудовий інтер'єрний стиль, вишуканий декор, тим самим не залишивши поза увагою жодне побажання клієнта. Продукція італійського бренду – це не просто найширша палітра кольору, вона представляє безмежні можливості для креативних творчих задумів.

Декоративні покриття та ефекти, створювані ними, зачаровують оригінальністю та багатим художнім змістом. Маючи в розпорядженні 30 декоративних матеріалів, 50 фактур, 1500 відтінків, що надають величезні, практично безмежні перспективи для створення різних комбінацій, можна втілити в життя талановиті, найсміливіші дизайнерські проекти[1]. В результаті реалізованих творчих фантазій стіни одержують вишукане “вбрання”, а ідея декорування, що постала в новому вигляді, передбачає гармонійне поєднання з простором, доставляючи оточуючим естетичне задоволення та захоплюючи їх. Секрет успіху лінії декоративних матеріалів SAN MARKO, які пропонують не просто унікальні кардинально нові рішення, але і зберігають при цьому високі якісні характеристики, полягає в тому, що кожен клієнт з абсолютно різними запитами в естетичному та технічному плані знайде для себе оптимальний матеріал для створення інтер'єру, що відповідає сучасним трендам і відображає модні дизайнерські та архітектурні тенденції [1].

На підставі аналізу літературних джерел [1-2] відомо, що зародження італійського бренду має давню історію. Сьогодні бренд є дітищем сімейства Джеремія у четвертому поколінні. Династія підприємців — це династія сміливих і цілеспрямованих людей, націлених на успіх, які з захопленням розвивали свій проект до того часу, поки він не зайняв місце лідера міжнародного значення. Сьогодні Decorativi SAN MARKO є брендом заводу Colorificio San Marco S.p.A., який працює в галузі створення та виробництва декоративних покриттів. Активний продаж фарб та лаків у головного засновника бренду SAN MARKO розпочався 1962 року. Вілла Венета, розташована у венеціанській провінції, перетворилася на штаб-квартиру компанії, а дочка П'єтро Тамбуріні Алессандріна стала правою батьковою рукою [2]. Саме під її управлінням у компанії культивувалися такі якості, як культура виробництва та етика наукових досліджень. Ці пріоритети збереглися до сьогодні — наполегливість, амбітність, прозорість та поважне ставлення до співробітників стали принципами та цінністю компанії, без яких немислимий успіх та зростання. Велику роль у тому, що компанія піднялася на новий рівень виробництва стало створення сучасної наукової лабораторії для проведення розробок та досліджень, яка і зараз є рушійною силою інновацій та винаходів. Пристрасть до улюбленої справи, любов до мистецтва, бажання зберігати та підтримувати традиції, культуру рідної землі червоною ниткою проходять через усю продукцію SAN MARKO [2].

Естетична цінність продукції SAN MARKO полягає не лише в новітніх розробках, які нерозривно пов'язані із традиціями. Інновації найвищого рівня допомагають втілювати образ “Italian Life-style”, що є дуже символічним.

Італійське мистецтво дизайну інтер'єрів підкорило міжнародний ринок, стало взірцем витонченості та смаку, що сприймається як всесвітньо визнаний зразок стилю. Завод SAN MARKO несе важливу місію — він передає сьогоdnішньому поколінню багату спадщину, в якій неперевершені італійські ремісничі техніки відтворюють вікові традиції південного народу, оновлені за допомогою сучасних матеріалів та технік [3].

На сьогоднішній день Група має 10 виробничих і комерційних об'єктів, розташованих по всьому світу, а також 6 брендів. SAN MARKO набула статусу визнаного еталона мистецтва декорування. Поставляючи продукцію усьому світу, вона цим представляє культуру “made in Italy”, передуючи модні тенденції і передбачаючи бажання клієнтів.

Основному виробництву належить площа понад 78.000 квадратних метрів, територія знаходиться в провінції Венеції містечку Маркон. Підприємство, побудоване за найкращими передовими технологіями, складається з трьох автоматизованих заводів. Якщо скласти разом їх виробничі потужності, то в результаті вийде 35.000.000 кг ґрунтових покриттів, водоемульсійних фарб і вапняних, вироблених за рік. Силами ще трьох виробничих одиниць за рік випускається 10.000.000 кг лаків, кольорових пластмас та водних емалей [1].

Велику цінність має ретельно відібрана команда дистриб'юторів, які надають клієнтам консультування високого професійного рівня з будь-яких питань, пов'язаних з продуктами SAN MARKO. Між компанією та дистриб'юторами створені міцні партнерські зв'язки, які сприяють плідній співпраці.

Відомо, що на кожній стадії оздоблювальних робіт, починаючи від проектування до повної реалізації проекту, завод Сан Марко надає підтримку професійного рівня. Поради щодо підбору матеріалів, технічні рекомендації та інші тонкощі, відомі тільки справжнім майстрам, допоможуть отримати відмінний результат. У ході такого співробітництва створюються довірчі відносини між компанією та клієнтом, що сприяють виявленню необхідності у додаткових послугах, а також інструментах [3].

Перспективи подальшого використання декоративних матеріалів SAN MARKO:

Спеціально розроблена тинтометрична система Marcomie відкриває перед кожним палітру кольору. Вибравши відтінок до душі, його можна відтворити власними силами, оскільки це процес нескладний, творчий, захоплюючий.

Матеріали представлені клієнту не просто як товар, а як комплексний інструмент для створення унікального декору. Вся продукція супроводжується барвистими каталогами, посібником з експлуатації, що розкриває тонкощі та секрети правильного нанесення покриття.

Майстри-декоратори ручним способом створили віяла кольорів, використовуючи для цього виключно натуральні матеріали. Це дозволяє вибрати відповідний колір, фактуру, текстуру, результатом яких буде саме те, що бажає бачити клієнт — благородний декор, який приваблює витонченою грою кольору, грацією штрихів, малюнком, що зачаровує погляд.

Завод має свій канал на YouTube, де регулярно виходять навчальні відео. Це дозволяє наочно побачити, як правильно працювати із матеріалами. Крім цього, кожен новий продукт висвітлюється на веб-сайті заводу Сан Марко, а також у соціальних мережах.

Колекція Сан Марко пронизана мотивами унікального італійського стилю, що створюється протягом століть. Він відображає цінність італійської культури, традицій, звичаїв. Все це важливо при виборі фактури матеріалу, адже її роль дуже значуща у дизайні інтер'єру при створенні того чи іншого стилю.

Завод має свій канал на YouTube, де регулярно виходять навчальні відео. Це дозволяє наочно побачити, як правильно працювати із матеріалами. Поряд із цим кожен новий продукт висвітлюється на веб-сайті заводу Сан Марко, а також у соціальних мережах.

Колекція Сан Марко пронизана мотивами унікального італійського стилю, що створюється протягом століть. Він відображає цінність італійської культури, традицій, звичаїв. Все це важливо при виборі фактури матеріалу, адже її роль дуже важлива у дизайні інтер'єру при створенні того чи іншого стилю.

Розроблені для клієнтів навчальні семінари та майстер-класи, які знайомлять із правилами, особливостями роботи з матеріалами Сан Марко, а також дозволяють дизайнерам та потенційним споживачам ближче ознайомитись із лінією продукції італійського виробника та її можливостями.

Кожен бажаючий може взяти участь у поїздці до Італії, що організовуються на постійній основі, де пройти теоретичне та практичне навчання безпосередньо на заводі Сан Марко.

Лабораторії професійного навчання (LAB FOR PRO), що працюють на базі навчального центру, надають можливість навчання для фахівців дизайну та споживачів. Унікальність методики полягає в тому, що підвищення професійного рівня відбувається через особисте спілкування з технологами, експертами, здатними дати цінні знання стосовно матеріалів Сан Марко. А це означає, що будь-яке бажання клієнта може бути задоволене як в естетичному, так і в технічному плані.

Вітчизняний ринок декоративних матеріалів SAN MARKO представлений асортиментом фарб, лаків, ґрунтовок, штукатурок, декоративних покриттів[4]. Розглянемо деякі з них.

Декоративна штукатурка SAN MARKO з мінеральним декоративним покриттям для внутрішніх та зовнішніх робіт MARMO D'AUTORE представляє собою декоративне покриття з гладким ефектом білого кольору, що має у складі кольорову мармурову крихту, створює дизайн приміщень у стилі мінімалізму та підкреслює вишуканий смак. Натуральне декоративне оздоблення на вапняній основі надає приміщенням яскравості та об'ємності. Матеріал MARMO D'AUTORE створює однорідні та приємні на дотик поверхні в стилі мінімалізму і перетворює дизайн-проекти на ексклюзивні творіння. MARMO D'AUTORE має високу повітропроникність та особливо рекомендується для реставраційних робіт у тому числі будівель історико-художньої цінності.

Декоративне покриття з вельветовим ефектом ADORO VELVET – представляє собою декоративне покриття з ефектом оксамиту (вельвету), створює вишукані поверхні, що характеризуються легким відблиском, що нагадують м'які бархатисті відтінки, типові для цього елегантного декоративного покриття.

Універсальний і простий у використанні, матеріал CADORO VELVET пропонує великий вибір відтінків від світлих і делікатних, але в той же час переливних до натуральних кольорів теплих тонів і природних відтінків.

Багатство ефектів та різноманіття технік нанесення перетворюють простір у приміщеннях, виконаних, як у класичному, так і в сучасному стилі.

Захисне покриття для фарб та декору San Marco DECORFILM – захисний засіб на водній основі, що використовується для захисту зовнішніх і внутрішніх поверхонь, пофарбованих декоративним покриттям, фарбою на водній основі, емаллю. Формула на основі акрилових смол та уретанів створює захисну плівку, забезпечуючи матеріал легкістю очищення та стійкістю до механічних впливів. На внутрішніх забарвлених стінах застосування DECORFILM приглушує поверхневі подряпини. Швидко висихає, не жовтіє. San Marco DECORFILM чудово розтягується, має високі адгезивні властивості.

Декоративне покриття з тональними ефектами DECORI CLASSICI – це декоративне оздоблення високої якості, здатне відтворити приміщення в стилі епохи Відродження, в яких поєднується авторський дизайнерський стиль із класичними елементами.

Декоративна фарба SAN MARKO MARCOPOLLO LUXURY. Якщо ви шукаєте матеріал, який надасть вашому інтер'єру індивідуальності та вишуканості, тоді вам слід звернути увагу на матеріал SAN MARKO MARCOPOLLO LUXURY. Декоративна фарба SAN MARKO MARCOPOLLO LUXURY – це матеріал, який дозволяє створювати приємну та привабливу атмосферу класичного та сучасного дизайну, реалізуючи на поверхні благородне оздоблення з вишуканою тонкою, кольорових металів текстурою.

Декоративна фарба SAN MARKO MARCOPOLLO LUXURY дуже легко наноситься, втілюючи різноманітні естетичні ефекти з грою світла та його відображеннями, що дозволяє задовольнити різноманітні творчі запити.

Унікальний стиль декоративного покриття ідеально підходить для стриманого, але при цьому витонченого інтер'єру і надає приміщенню експресивності, пов'язуючи сучасність з елементами історичного шарму.

Легкість і простота в нанесенні зробили цей матеріал популярним серед майстрів будь-якого рівня майстерності, а також для людей, хто вперше стикається з декоративними матеріалами, але має бажання втілити свою ідею на стінах самостійно. Широка хроматична гама від ніжних пастельних до насиченіших тонів, що включають переплетення білих нерозчинних флокул, що утворюють ажурну в'язь, подібну до

невагомої тканини, виходить за межі використання монохроматичних рішень і створює поверхню із дивовижною грою кольору. Завдяки легкості нанесення та широкому вибору декоративних ефектів DECORI CLASSICI стає

ідеальним рішенням для розкішного інтер'єру приватних будинків, апартаментів та приміщень комерційного призначення.

Як свідчать проведені дослідження, особливу увагу при виготовленні декоративних покриттів SAN MARKO приділяється екологічності продукції. Якщо взяти, для прикладу, декоративну штукатурку SAN MARKO, то в її складі немає розчинників і алергенів - це значить, що використовувати обробку даним матеріалом можна навіть в дитячій кімнаті.

- Перспективи подальшого використання декоративних матеріалів SAN MARKO:
- Різноманітність варіантів нанесення використовується для створення неповторних структур як.
- Облаштування поверхні є міцне та надійне.
- Матеріали захищають стіни від грибка і цвілі.
- Зрівнятися в оригінальності зі штукатуркою SAN MARKO не зможе жоден метод обробки стін [1].
- Для більшості типів даного оздоблювального матеріалу немає необхідності ідеально вирівнювати стіни.

Згідно технології нанесення нам відомо, що особливо ретельна підготовка стін потрібна для венеціанської штукатурки, перед нанесенням поверхня повинна бути вирівняною, як для фарбування. Декоративна штукатурка SAN MARKO, незважаючи на ретельність підготовки поверхні перед нанесенням та ціну, користується високою популярністю. Розглянемо найбільш затребувані декоративні штукатурки більш детально.

Венеціанська акрилова. Класичний варіант штукатурки STYKKO VENEZIANO - в її основі акриловий полімер. Має 2 варіанти фабричної поставки - для колеровки в темні і світлі кольори. Особливістю цього типу є присутність в складі необхідного захисного компонента, тобто віск після висихання наносити не потрібно.

Вапняна з наповнювачем або без нього. Вапняна HRASELLO DI KALZO є натуральною і екологічною. Для додання їй необхідних властивостей потрібно нанесення воску. Штукатурка з наповнювачем включає до свого складу калібровану мармурову крихту.

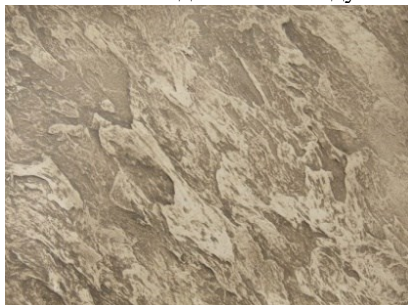


Рис. 1. Синтетична інтер'єрна мінеральна штукатурка

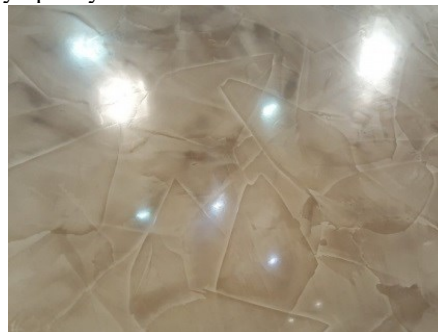


Рис. 2. Мінеральна декоративна штукатурка SAN MARKO

Синтетична інтер'єрна, мінеральна штукатурка KANALHADE (Рис. 1) імітує неполірований граніт з дзеркальними вкрапленнями. За рахунок особливої міцності і довговічності, такі покриття використовуються в громадських місцях, офісах, ресторанах.

Синтетична декоративна штукатурка AKRIS повторює структуру мармуру. В її складі є наповнювачі: гранули мармуру і скло в лусочках, за рахунок чого вона гарно виглядає при обробці стіни.

Мінеральна декоративна штукатурка SAN MARKO (Рис. 2) створена на основі вапна, з додаванням кварцового піску різних фракцій, за рахунок чого досягається неоднорідний і унікальний рельєф.

Рідка і піноподібна штукатурка. Рідка штукатурка ANTIK KALZO (Рис.3) легко наноситься, за рахунок того, що фракція помелу вапна мінімальна. З такою вдається створити слабо рельєфну витончену лессировку. Її необхідно колерувати, так як спочатку вона виконана в білому кольорі.

Піноподібна штукатурка STYKKO FAZILLE (Рис.3). В її складі вінілові сополімери, в які додані суспензії мікросфер скла. Основне використання - створення великих рельєфів, особливість її складу дозволяє нанести таку декоративну штукатурку товщиною в кілька сантиметрів без втрати своїх якостей.

Фактурна штукатурка RILJEVO (Рис.4) включає до свого складу волокнисті наповнювачі, в основі її акриловий полімер. Саме така комбінація дозволяє створювати товсті рельєфні поверхні. З її допомогою вдається створити ефект рубаного каменю. Можливість створення глибокої нерівномірної структури полегшує підготовку поверхні, цей тип декоративної штукатурки Сан Марко може приховати нерівності на стіні аж до 2-5 мм. Колір її білий, допускається колерування.



Рис. 3. Рідка та піноподібна штукатурка



Рис. 4. Фактурна штукатурка з ефектами

Штукатурка з ефектом імітації цементу KONTRET ART включає до свого складу акрил – силіконові полімери. Основне використання - імітація поверхонь без вкраплення щєбінь, цемент, пісок. Використовується успішно як всередині так і зовні будівлі.

Вінілові декоративні штукатурки SAN MARKO мають виражену рельєфну поверхню. З ними вдається створити на стіні тонкі і складно фактурні композиції. Вони пластичні, з їх допомогою вдається переводити малюнок у скульптуру.

Силіконові штукатурки AKRIS мають в своєму складі силіконові смоли. Вони не страждають від ультрафіолету, температурних змін, вологості, механічних впливів. Має властивість самоочищення. Силіконові декоративні штукатурки використовуються для стін, що забезпечує надійний захист від атмосферних впливів.

Немає загальних правил нанесення декоративної штукатурки SAN MARKO, кожен майстер може зробити інтер'єр індивідуальним і несхожим на інші. Для нанесення можна використовувати спеціальні гумові валики з малюнком, шпатель і підручні засоби (кисті, валики з ворсом тощо).

Таким чином, декоративні матеріали SAN MARKO, створені італійськими професіоналами можуть забезпечити міцне та надійне покриття, яке буде естетичним та гармонійним і послужить довгі роки.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведені дослідження будуть сприяти упорядкуванню інформативного ринку декоративних матеріалів та послужить матеріалом для подальших досліджень.

Література

1. Компанія SAN MARKO. URL: <https://www.videcor.com.ua/uk/kompaniya-san-marco/> (дата звернення 14.07.2022).
2. Декоративні фарби SAN MARKO. URL: <http://san-marco.com.ua/materials/-farbi/> (дата звернення 16.07.2022).
3. Екологічні фарби для стін. URL: <http://san-marco.com.ua/> (дата звернення 17.07.2022).
4. Декоративні штукатурки. Фарби. URL: <https://www.instagram.com/sanmarco.kiev/> (дата звернення 18.07.2022).

References

1. SAN MARKO company. URL: <https://www.videcor.com.ua/uk/kompaniya-san-marco/> (access date 07/14/2022).
2. SAN MARKO decorative paints. URL: <http://san-marco.com.ua/materials/-farbi/> (access date 07/16/2022).
3. Ecological paints for walls. URL: <http://san-marco.com.ua/> (access date 07/17/2022).
4. Decorative plasters. Paints URL: <https://www.instagram.com/sanmarco.kiev/> (access date 07/18/2022).

ОЛІЙНИК Г. С.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6519-7938>e-mail: oliynykha@khmnu.edu.ua

ГЕОТЕКСТИЛЬ В СУЧАСНОМУ ІНТЕР'ЄРІ: ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ В КОНСТРУКЦІЇ ФІТОМОДУЛЯ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОЗЕЛЕНЕННЯ СТІНИ

В роботі наведено результати досліджень, що пов'язані з особливостями використанням геотекстильного матеріалу - геотекстильної профільної мембрани Isolit Green в конструкції фіто модуля для вертикального озеленення стіни в сучасному інтер'єрі. Фіто модуль - це сучасний тренд, унікальний дизайн; чисте повітря в приміщенні та простий догляд; це затишок та комфорт. Вертикальне озеленення за допомогою фіто модуля вигідно виділить приміщення, створить відповідний настрій та надасть йому особливий шарм. Фіто модулі для озеленення - сучасне рішення декорування житлового приміщення. Правильно підібраний геотекстильний матеріал здатний підвищити надійність фотомодуля, збільшити терміни між ремонтно - обслуговуваними роботами та продовжити термін експлуатації фотомодуля. Геотекстильні матеріали, що використовуються у конструкції фотомодуля, мають забезпечити якісні дренажні властивості та жорсткість самої конструкції. Розглянуто різновидності фотомодулів, їх переваги та недоліки, особливості наповнення. Досліджено конструктив фотомодуля, важливою складовою якого є геотекстиль, Розглянуто технічні характеристики геотекстильної профільованої мембрани Isolit Green, яку можна використовувати в конструкції фотомодуля. Розглянуто асортимент фітолокацій на основі фотомодуля.

Ключові слова: геотекстильні матеріали, фіто модуль, конструктив, геосинтетичні матеріали, профільована мембрана, конструкція, жорсткість, фітосистема.

Halina OLIJNYK

Khmelnitskyi National University

GEOTEXTILE IN THE MODERN INTERIOR: FEATURES OF USE IN THE DESIGN OF A PHYTOMODULE FOR GREEN WALL

The paper presents the results of research related to the features of using a geotextile material - geotextile profile membrane Isolit Green in the design of a phytomodule for vertical greening of a modern interior. The phytomodule is a modern trend, a unique design; clean indoor air and easy maintenance; it's coziness and comfort. Vertical landscaping with the help of a phytomodule will advantageously distinguish the room, create the appropriate mood and give it a special charm. Phytomodules for landscaping are a modern solution for decorating a living space. A picture, a wall or a movable structure - everyone can find their own option based on the stylistic preferences and features of the design of the apartment or house. Vertical gardening is a great alternative to nature, requires a minimum of space, and the wall will look different. Phytowall can be easily placed near the desk in the office or apartment. Vertical gardening is a piece of nature that we need, which gives us strength and inspiration. Vertical landscaping is, without exaggeration, one of the most popular and universal trends in interior design. A green wall will help save space for placing plants, create the effect of a natural environment, clean the air and increase humidity in the room. The phytosystem consists of a phytomodule in which live indoor plants are planted. The modular design allows you to assemble green walls of any size.

Correctly selected geotextile material can increase the reliability of the phytomodule, increase the time between repair and maintenance work, and extend the life of the phytomodule. Geotextile materials used in the construction of the phytomodule must ensure high-quality drainage properties and rigidity of the structure itself. The varieties of phytomodules, their advantages and disadvantages, features of filling are considered. The structure of the phytomodule was studied, an important component of which is geotextile, which ensures the qualitative characteristics of the phytomodule, in particular, the effective removal of excess moisture and the strength of the structure. The technical characteristics of the geotextile profiled membrane Isolit Green, which can be used in the design of the phytomodule, are considered. The assortment of ideas for garden walls based on the phytomodule is considered.

Key words: geotextile materials, phytomodule, constructive, geosynthetic materials, profiled membrane, construction, stiffness, phytosystem.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Геотекстильні матеріали є різновидом геосинтетичних матеріалів, що створені на основі синтетичних полімерів та натуральних волокон (лляних, джутових, кокосових, бавовняних, вовняних). Вони представляють собою геосинтетичні матеріали, виготовлені з переплетених полімерних ниток. Матеріал має чудові характеристики: однорідний, міцний, зносостійкий, не схильний до гниття. Дані матеріали користуються попитом на вітчизняному ринку та мають різноманітну сферу використання. Основними виробниками геотекстильних матеріалів є Північна Америка, Китай та Японія. На вітчизняному ринку переважає імпортована продукція. Вітчизняні виробники геотекстильних матеріалів задовольняють потреби лише частково, що пов'язано, передусім, з відсутністю власної сировинної бази та сучасною політико-економічною ситуацією [1-4].

Особливий інтерес вітчизняних споживачів спостерігається в останні роки до використання геотекстильних матеріалів в озелененні інтер'єру, зокрема в конструкції фіто модуля для вертикального озеленення стіни, створенню фітокартин, переносних чи стаціонарних перегородок з живих рослин. Обмеженням для використання фіто модулей в сучасному інтер'єрі є те, що надзвичайно мало відомостей та досліджень, що стосуються використання матеріалів в конструкції фотомодуля, зокрема геотекстильних

матеріалів, які мають мати відповідати певним характеристикам. Тому дослідження, які розкрито в даній статті є актуальними.

Аналіз досліджень та публікацій

Використання геотекстилю добре зарекомендувало себе в ландшафтному дизайні, промислового та цивільного будівництва, в дизайні інтер'єру тощо [1-7]. Новим трендом в дизайні сучасного інтер'єру є фітотекстилі з живих рослин, в основі конструкції яких використовується геотекстильні матеріали. Фітотекстилі для вертикального озеленення сучасного інтер'єру – це конструкції, що дозволяють створювати картини з живих рослин, облаштувати різноманітні фітозони на основі фітотекстильних модулів, або ж створювати переносні перегородки з рослин для зонування простору [8-10].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є дослідження процесу використання геотекстильних матеріалів в озелененні сучасного інтер'єру та окреслення перспектив подальшого використання в сучасному інтер'єрі для укомплектування інформативного ринку.

Виклад основного матеріалу

Геотекстильні матеріали можуть бути ткані, неткані та в'язальні. Геотекстильні матеріали мають високі показники стійкості до хімічних впливів, до процесів гниття, хороший коефіцієнт фільтрації, легко пропускають вологу і воду, але повністю затримують частинки землі, піску та іншого ґрунту. При цьому геотекстильні матеріали не схильні до органічного розкладання, і не виділяють в навколишнє середовище токсичних і хімічно шкідливих з'єднань, область застосування залежить від щільності матеріалу. Для виготовлення геотекстильних матеріалів використовують мононитки фібри [6], які під тиском води та гарячого повітря формують щільне полотно; також матеріал піддають процедурі коландрування, тому матеріал в готовому вигляді є міцним і надійним.

До переваг геотекстильних матеріалів відносять: екологічність, матеріал не розкладається на хімічні складові; міцність, матеріал стійкий до пошкоджень за рахунок міцності переплетених ниток; стійкість до умов навколишнього середовища, матеріал не гниє, стійкий до сонячного впливу, кислотних, лужних та інших органічних впливів; відносно нескладний монтаж та доступна цінова категорія. При виборі геотекстильного матеріалу необхідно відштовхуватися від того, яке завдання він повинен виконати, так як саме від призначення залежить вибір виду матеріалу, щільності та розміру полотна. Неткані геотекстильні матеріали щільністю 100-150 г/м² використовуються в дренажних системах в якості фільтраційного матеріалу, для створення газонів та декоративних водойм, садових доріжок; а щільністю 200-300 г/м² можна використовувати для тротуарів, штучних водойм, дренажних каналів. Геотекстильні матеріали щільністю 400-500 г/м² можуть застосовуватись для будівництва стоянок та доріг, що пропускають вантажний транспорт, а щільність 350-600 г/м² застосовується для будівництва високо завантажених залізничних доріг, автошляхів і злітно-посадочних смуг аеропортів місцевого значення [3-7].

Порівняно недавно на вітчизняному ринку появились фітотекстильні модулі для озеленення стіни в інтер'єрі, складовою та важливою частиною яких є геотекстильні матеріали. Це установки, що дозволяють оформити приміщення живими рослинами за рахунок вертикального озеленення [8]. Як правило, фітотекстильні модулі продають з автоматичною системою поливу. Останнім часом популярністю користуються фітостіни та фітокартини, які складаються з стабілізованих рослин, що не потребують поливу. Можна виділити наступні різновидності фітотекстилів:

1. По розміру конструкції: фітокартини, фітостіни;
2. По способу монтажу: стаціонарні, пересувні, автоматичний полив, без поливу.

Перевагами фітотекстильних модулів для озеленення є економія простору, в фітотекстиль входить велика кількість рослин на 1 кв. м, порівняно з вазонами, вирощування рослин проходить без землі, а значить немає пилуки та бруду; автономна система поливу; легка система кріплення. Єдиним недоліком є висока ціна фітотекстилю.

З наповненням фітотекстильного модуля можна експериментувати. До рослин можна оформити підсвітку, наприклад, світлодіодну ленту. Каркас фітотекстильного модуля може бути з пластику, дерева, металу, пластмаси. Якщо в каркасі використовувати дерево, то його потрібно обробити антисептиком, щоб попередити загнивання деревини. Для кішень під рослини можна використати пластикові горшки, лотки, войлок. Готовий каркас можна прикрасити декоративними елементами [9].

Для конструкції фітотекстильного модуля використовують неткані геотекстильні матеріали, які бувають двох видів голкопробивні та термоскріплені. Голкопробивні неткані геотекстильні матеріали виготовляються з поліестерових волокон методом голкопробивання; такий матеріал володіє високою міцністю і має відмінну водонепроникність, використовується для облаштування дренажних систем. Термоскріплені неткані геотекстильні матеріали виготовляються з високоякісного поліпропілену; розплавка синтетичних волокон і скріплення їх між собою відбувається під впливом високих температур; такий матеріал має щільну структуру та високу міцність на розрив, але нижчі фільтраційні якості. Правильно підібраний геотекстильний матеріал може підвищити надійність конструкції, збільшити терміни між ремонтно-обслуговуючими роботами та продовжити термін експлуатації в цілому [10]. Особливістю вибору

геотекстильного матеріалу для конструкції фітотомодуля залежить від того, чи буде ця конструкція стаціонарною чи переносною.

Конструктив фітотомодуля складається з окремих шарів.

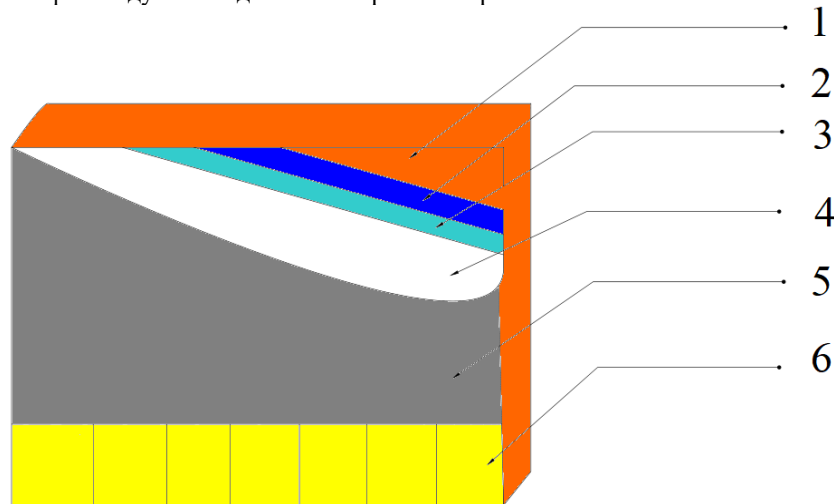


Рис. 1. Конструктив фітотомодуля: 1 – каркас, 2 – водонепроникний матеріал, 3 – система трубок, 4 – геотекстильний матеріал, 5 – кишеня з геотекстильного матеріалу, 6 – піддон з поглиною помпою.

Аналіз літературних джерел [11-14] свідчить, що для конструкції фітотомодуля можна використовувати геотекстильну профільну мембрану Isolit Green. Матеріал має невеликі отвори по всьому полотну. Геотекстильна профільна мембрана Isolit Green є шиповидною і укладається виступами вниз на шар водонепроникного матеріалу та системи трубок по яких циркулює вода. При поливі надлишки води йдуть крізь перфорацію в дренажний зазор і далі в систему водовідведення. Таким чином, геотекстильна профільована мембрана дозволяє захистити основний гідроізоляційний шар та забезпечити ефективне відведення надлишкової вологи. Але при цьому частина води залишається у виступах мембрани, що дозволяє акумулювати в системі фітотомодуля вологу, необхідну для живлення коренів рослин. Геотекстильна профільна мембрана Isolit Green виготовляється методом екструзії з поліетилену високої щільності [12]. Вона являє собою чорне полотно з опуклими виступами у вигляді усеченого конуса, через що й пішла назва геомембрани – «шипоподібна» [12]. Шипоподібна мембрана з поліетилену високої щільності завдяки екструзійному способу виробництва відрізняється однорідністю та рівномірністю властивостей, як в поздовжньому, так і в поперечному напрямку. Геотекстильна профільована мембрана нетоксична, володіє міцністю на розтягування та стиснення, водонепроникністю, стійкістю до механічних пошкоджень, ультрафіолетового випромінювання, перепадів температур, впливу хімічних речовин (кислот, лугів, масел). Крім того, вона не схильна до гниття, не уражається цвілью, не пошкоджується гризунами та комахами; вона легко монтується і має тривалий термін служби (більше 50 років) [13].

Технічні характеристики [11-14] геотекстильної профільованої мембрани Isolit Green представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики геотекстильної профільованої мембрани Isolit Green

№ з/п	Технічні характеристики	Одиниці виміру	Isolit Green
1	Особливості геомембрани	-	шипоподібна, перфорована
2	Ширина рулону	м	2,5
3	Довжина рулону	м	1,2
4	Площа рулону	м ²	3
5	Товщина полотна	мм	0,9
6	Висота шипів	мм	20
7	Кількість шипів	шт/м ²	400
8	Питома вага (щільність)	г/м ²	1000
9	Міцність на розрив	кН/м	—
10	Міцність на стиснення	кН/м ²	240
11	Розмір пор геотекстилю O90w	мкм	—
12	Швидкість потоку при висоті водяного стовпа 10 см	л/(м ² хс)	—
13	Об'єм повітряного зазору	л/м ²	14
14	Пропускна здатність	л/с/м	—
15	Діаметр перфорації	мм	5

Геотекстильна профільована мембрана Isolit Green виготовляється із спеціальної поліетиленової плівки, у складі якої є модифікуючі компоненти, що підсилюють міцність і підвищують довговічність цього матеріалу.

В її структурі є конусоподібні виступаючі елементи, що послужило формуванню назви – профільовані мембрани. Важливою функцією геотекстильної профільованої мембрани Isolit Green є те, що вона надає конструкції фітоту модуля підвищену стійкість до розривів та проколів. Захищені геотекстильною профільованою мембраною Isolit Green корені рослин у конструкції фітоту модуля не піддаються поразці цвільлю і іншими мікроорганізмами, а також не прогризаються комахами та мишами. Геотекстильна профільована мембрана Isolit Green не взаємодіє з хімічно агресивними речовинами, дає довговічний і якісний захист від вологи. Геотекстильна профільована мембрана Isolit Green по своїх характеристиках (табл.2) може бути складовою частиною фітоту модуля [14].

фітоту модуль – це автоматизована, вертикально розташована, система вирощування рослин. фітоту модуль може бути переносним і використовуватись для зонування приміщення в якості перегородки з живих рослин, його при потребі можна буде легко зрушити з місця або перенести в інше місце. фітоту модуль може бути стаціонарним, якщо стіна потрібна для очищення повітря в приміщенні, тоді такий фітоту модуль має бути з'єднаний з каналізацією і підключений до спеціальної автоматичної системи поливу, так буде легше доглядати за рослинами, які в нього висаджені [15].

Можна розмістити рослини на одній або навіть двох стінах однієї кімнати. Для того, щоб фітостіна добре вписалася в загальний дизайн приміщення, інтер'єр в ньому повинен бути максимально лаконічним. А це значить, що інші стіни і стеля в цьому приміщенні повинні містити світлі спокійні відтінки, інакше приміщення не вийде затишним та гармонійним.



Рис. 2. Фітостіна з живих рослин

Для створення фітостіни можна використовувати практично всі кімнатні рослини. Замість зелених рослин можна використовувати мох.



Рис. 3. Фітостіна з моху

Якщо на стіну з моху будуть потрапляли прямі сонячні промені, то він дуже швидко висохне і потьмяніє, причому це відбудеться навіть у разі дуже інтенсивного поливання. Крім цього, слід врахувати, що готовий фітоту модуль буде досить важким [15]. Тому буде краще, якщо для монтування великої фітостіни спершу виготовити невеликі фітоту модулі, які вже на стіні облаштувати в один великий.

В приміщенні, де облаштована фітостіна з живих рослин, завжди має бути багато світла, можна, при потребі, підключити штучні джерела світла; має бути регулярний полив та контроль вологості; підживлення рослин теж можна проводити через систему поливу. Для того, щоб рослини росли не у висоту, а в ширину періодично потрібно прищипування бруньок і пагонів [15].

Все більшим попитом користуються фітокартини, в основі яких використано геотекстиль. Картини створюють під замовлення в будь – якому розмірі та стилі [16].

Популярністю користуються картини з моху, мох можна фарбувати.



Рис. 4. Фітокартина



Рис. 5. Фітокартина з стабілізованого моху

Фітокартини з живих рослин та з стабілізованого моху, вивіски з стабілізованого моху доповняють будь-який інтер'єр. Такі картини можна розміщати будь-де, головне, щоб на них не потрапляли прямі сонячні промені. З них можна зробити бренд компанії, підкреслити статус закладу, створити неповторну атмосферу. Картини з моху це тренд який тільки починає набирати обертів [17].



Рис. 6. Вивіска з стабілізованого моху

Монтаж фотомодуля відбувається за рахунок металевих профілів, які кріпляться до вологозахисної поверхні.

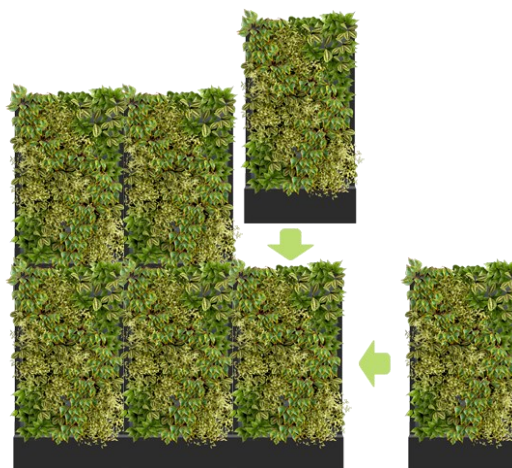


Рис. 7. Кріплення фотомодуля

фітомодуль це цілісна конструкція з баком, обладнана насосом і таймером автоматичного включення подачі води. Виготовлений з міцного ПВХ (базовий колір – чорний), може бути пофарбований в будь-який колір за бажанням замовника або декорований. Матеріал і особливий процес склеювання не допускає проникнення вологи в конструкцію. Цілісність конструкції спрощує монтаж, немає необхідності в чорнових та підготовчих роботах[18]. Товщина конструкції максимум 16 см, фактично немає втрати площі приміщення, при цьому появляється можливість розмістити велику кількість живої рослинності. Завдяки таймеру насос включається щодня в певний час, рівномірно проливає рослини і самостійно вимикається. За

рахунок щоденної циркуляції вода не застоюється, але потрібно доливати регулярно воду в спеціальний бак [19].

При виборі рослин для наповнення фітотомодуля потрібно врахувати деякі нюанси: рослини мають бути максимально невибагливі, які можуть рости при мінімальній кількості світла і вологи; на одному фітотомодулі краще всього використовувати або квітучі рослини, або просто зелені, тому що за квітучими рослинами треба доглядати більш ретельно, в результаті їм може просто не вистачити вологи, поживних речовин чи освітлення, і вони не будуть рости [20].

Перспективним напрямком розвитку фітотомодулів на основі геотекстилю є гідропоніка /метод вирощування рослин для споживання [21]. Для цього методу рекомендовано відповідні органічні добрива, засоби захисту і стимулятори зростання, фітоосвітлення, вимоги до вологості.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Вертикальне озеленення залишається модним трендом фітодизайну в 2022 році. Воно активно розвивається за рахунок нових форм та матеріалів, використання нових добрив та освітлення. Це є перспективно і надалі, проте і затратно також. Використання фітотомодулів потребує щоденного догляду та додаткових витрат на полив, електрику, обладнання, обслуговування тощо. Пріоритетним напрямком залишається гідропоніка, стабілізовані рослини. Вертикальні стіни з моху монтуються без каркасів; таким чином не забирається корисна площа приміщення, а швидко можна розставити в інтер'єрі потрібні акценти. А ще, стіни з моху легкі та зручні в експлуатації, без труб та проводів, не вимагають особливої уваги.

Використання в сучасному інтер'єрі фітотомодулів на основі геотекстилю потребує дотримуватись спеціальної технології застосування матеріалів, використання спеціального обладнання тощо. Проведені дослідження показали, що використання в сучасному інтер'єрі фітотомодулів на основі геотекстилю є перспективним напрямком, чим заслужило прихильність вітчизняного споживача та продовжує утримувати лідируючі позиції. Даний матеріал можна використати для упорядкування інформативного ринку. Проведені дослідження не претендують на оригінальність, є далеко не вичерпними, та потребують подальших теоретичних та практичних розвідок, що стосується порушеної проблематики дослідження.

Література

1. Пелик Л.В. Особливості застосування геотекстильних нетканних матеріалів у якості фільтрувального шару/ Л.В.Пелик// Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. -№1.-С.207-211.
2. Кириченко О.В. Геотекстиль нетканый: вибір показників властивостей для оцінки рівня якості та формування асортименту / О.В. Кириченко// Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. -№4.-С.67-73.
3. Олійник Г.С., Колос І.О., Нашилова Н.В. Геотекстиль: особливості використання у ландшафтному дизайні /Г.С.Олійник, І.О.Колос, Н.В.Нашилова// Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. -№3.-С.100-103.
4. Застосування геотекстилю. URL: <https://akulaa.com.ua/ua/a372082-primenenie-geotekstilya-stroitelstve.html> (дата звернення 14.08.2022).
5. Застосування геотекстилю. URL: https://altex.dp.ua/publ/primenenie_geotekstilja/9-1-0-59 (дата звернення 11.09.2022).
6. Нетканый геотекстиль. URL: <https://altex.dp.ua/publ/9>. (дата звернення 11.09.2022).
7. Нетканый синтетичний геотекстиль. URL:<https://plodsad.com.ua/ua/g16788106-geotekstil> (дата звернення 12.09.2022).
8. Фітотомодулі для вертикального озеленення – сучасне рішення в оформленні інтер'єру. URL: <https://sad24.ru/cvety/komnatnye/fitomoduli-dlya-vertikalnogo-ozeleneniya.html> (дата звернення 13.09.2022).
9. Вертикальне озеленення. фітотомодуль з реагуванням.
10. URL:https://www.zeleney.com/?gclid=Cj0KCQjwyt-ZBhCNARIsAKH1177HVUjy-W6ocvIDowg5X-_t62yRBI56E8JbRNua8bKobr16ca7AmL8aAuGnEALw_wcB&gclid=Cj0KCQjwyt-ZBhCNARIsAKH1177HVUjy-W6ocvIDowg5X-_t62yRBI56E8JbRNua8bKobr16ca7AmL8aAuGnEALw_wcB (дата звернення 14.09.2022).
11. Фітотомодуль. URL:<https://fitoroom.com.ua/g16757500-fitosteny> (дата звернення 15.09.2022).
12. 11.Vertical Gardening: An Easy and Affordable Module for Domestic Installation in the Context of Khulna City.URL:https://www.researchgate.net/publication/357670998_Vertical_Gardening_An_Easy_and_Affordable_Module_for_Domestic_Installation_in_the_Context_of_Khulna_City (дата звернення 15.09.2022).
13. Geotextiles—A Versatile Tool for Environmental Sensitive Applications in Geotechnical Engineering. URL: <https://www.mdpi.com/2673-7248/2/2/11>, Textille 2022№2, S 190-208 (дата звернення 15.09.2022).
14. A Quantification of the Short-term Reliability of Isolit Green Geomembrane Seaming Methods Publisher URL: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/jgein.21.00041> DOI: 10.1680/jgein.21.00041 (дата звернення 15.09.2022).
15. Vertical Gardening. Adaptation of Hydroponic Systems and Ornamental Species. Proc. XXVIII

- Th. IHC – IS on Adv. in Ornamentals, Landscape & Urban Hort. Ed.: G. Groening Acta Hort. 937, ISHS 2012 . S 1153-1160 URL: https://www.academia.edu/25418276/Vertical_Gardening_Adaptation_of_Hydroponic_Systems_and_Ornamental_Species (дата звернення 15.09.2022).
16. Вертикальне озеленення. Стабілізовані чи живі рослини. URL: <https://eflora.com.ua/blog/vertikalnoe-ozelenenie-stabilizirovannye-ili-zhivye-rasteniya>. (дата звернення 16.09.2022).
17. Фітокартини. URL: https://images.prom.ua/695310734_fitokartina-40h40.jpg (дата звернення 16.09.2022).
18. Фітовивіски URL: Детальніше: <https://fitoroom.com/ua/p476259566-logotipy-stabilizirovannogo-mha.html> (дата звернення 16.09.2022).
19. Вертикальне озеленення ресторану. Фитостена. URL: <https://fitoroom.com/ua/p812511043-vertikalnoe-ozelenenie-restorana.html> (дата звернення 17.09.2022).
20. Вертикальне озеленення кав'ярні. Фитостена. Фитомодуль. URL: <https://fitoroom.com/ua/p812465035-vertikalnoe-ozelenenie-kofejni.html> (дата звернення 17.09.2022).
21. Які рослини підходять для фотостіни. URL: <https://goodhouse.com.ua/poradi/17122-yak-zrobiti-fitostenu-i-fitomoduli-v-kvartiri-svoimi-rukami-v-pokrokovu-instrukciya-yak-zrobiti-konstrukciyu-dlya-fitosteny-fitomodulya-sxema-yaki-roslini-mox-pidxodyat-dlya-fitosteny-v-kvar.html>. (дата звернення 18.09.2022).
22. Гідропоніка. URL: <https://fitoroom.com/ua/g16767171-gidroponika> (дата звернення 18.09.2022).

References

1. Pelyk L.V. Features of the use of geotextile non-woven materials as a filter layer/ Pelyk L.V. // Bulletin of the Khmelnytskyi National University. - 2016. - No. 1. - P. 207-211.
2. Kirichenko O.V. Non-woven geotextile: selection of property indicators for quality level assessment and assortment formation / Kyrychenko O.V. // Bulletin of the Khmelnytskyi National University. - 2015. - No. 4. - P. 67-73.
3. Oliynyk G.S., Kolos I.O., Nashylova N.V. Geotextile: features of use in landscape design / G.S. Oliynyk, I.O. Kolos, N.V. Nashylova // Bulletin of the Khmelnytskyi National University. - 2017. - No. 3. - P. 100-103.
4. Application of geotextile. URL: <https://akulaa.com.ua/ua/a372082-primenenie-geotekstilya-stroitelstve.html> (access date 08/14/2022).
5. Application of geotextile. URL: https://altex.dp.ua/publ/primenenie_geotekstilja/9-1-0-59 (access date 09/11/2022).
6. Non-woven geotextile. URL: <https://altex.dp.ua/publ/9> (access date 09/11/2022).
7. Non-woven synthetic geotextile. URL: <https://plodsad.com.ua/ua/g16788106-geotekstil> (access date 09/12/2022).
8. Phytomodels for vertical gardening are a modern solution in interior design. URL: <https://sad24.ru/cvety/komnatnye/fitomoduli-dlya-vertikalnogo-ozeleneniya.html> (access date 09/13/2022).
9. Vertical landscaping. Phytomodule with response. URL: https://www.zeleney.com/?gclid=Cj0KCQjwyt-ZBhCNARIsAKH1177HVUjy-W6ocvIDowg5X-t62yRBi56E8JbRNua8bKobr16ca7AmL8aAuGnEALw_wcB&gclid=Cj0KCQjwyt-ZBhCNARIsAKH1177HVUjy-W6ocvIDowg5X-t62yRBi56E8JbRNua8bKobr16ca7AmL8aAuGnEALw_wcB (access date 09/14/2022).
10. Фітомодуль. URL: <https://fitoroom.com/ua/g16757500-fitosteny> (access date 09/15/2022).
11. Afroz D., Zaman S., Ahmed N. N. Vertical Gardening: An Easy and Affordable Module for Domestic Installation in the Context of Khulna City. URL: https://www.researchgate.net/publication/357670998_Vertical_Gardening_An_Easy_and_Affordable_Module_for_Domestic_Installation_in_the_Context_of_Khulna_City (access date 09/15/2022).
12. Geotextiles—A Versatile Tool for Environmental Sensitive Applications in Geotechnical Engineering. URL: https://www.mdpi.com/2673-7248/2/2/11_Textille_2022_N2, S_190-208 (access date 09/15/2022).
13. A Quantification of the Short-term Reliability of Isolite Green Geomembrane Seaming Methods Publisher URL: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/jgein.21.00041 DOI: 10.1680/jgein.21.00041> (access date 09/15/2022).
14. Vertical Gardening. Adaptation of Hydroponic Systems and Ornamental Species. Proc. XXVIII Th. IHC – IS on Adv. in Ornamentals, Landscape & Urban Hort. Ed.: G. Groening Acta Hort. 937, ISHS 2012 . S 1153-1160 URL: https://www.academia.edu/25418276/Vertical_Gardening_Adaptation_of_Hydroponic_Systems_and_Ornamental_Species (access date 09/15/2022).
15. Vertical landscaping. Stabilized or live plants. URL: <https://eflora.com.ua/blog/vertikalnoe-ozelenenie-stabilizirovannye-ili-zhivye-rasteniya>. (application date 09/16/2022).
16. Green walls. URL: https://images.prom.ua/695310734_fitokartina-40h40.jpg (access date 09/16/2022).
17. Phytomodels URL: More details: <https://fitoroom.com/ua/p476259566-logotipy-stabilizirovannogo-mha.html> (access date 09/16/2022).
18. Vertical landscaping of the restaurant. Green wall. URL: Vertical landscaping of a coffee shop. Green wall. Phytomodule. URL: More details: <https://fitoroom.com/ua/p812465035-vertikalnoe-ozelenenie-kofejni.html> (access date 09/17/2022).
19. Vertical landscaping of a coffee shop. Green wall. Phytomodule. URL: More details: <https://fitoroom.com/ua/p812465035-vertikalnoe-ozelenenie-kofejni.html> (access date 09/17/2022).
20. Which plants are suitable for green walls. URL: <https://goodhouse.com.ua/poradi/17122-yak-zrobiti-fitostenu-i-fitomoduli-v-kvartiri-svoimi-rukami-v-pokrokovu-instrukciya-yak-zrobiti-konstrukciyu-dlya-fitosteny-fitomodulya-sxema-yaki-roslini-mox-pidxodyat-dlya-fitosteny-v-kvar.html>. (application date 08/18/2022).
21. Hydroponics. URL: <https://fitoroom.com/ua/g16767171-gidroponika> (access date 09/18/2022).

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?page_id=37

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 17 від 26.05.2022 р.**

Підп. до друку 28.07.2022 р. Ум.друк.арк. 43,02 Обл.-вид.арк. 40,92
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