

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., Сарібєкова 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., Бубуліс 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.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 24922-14862ПР від 12 липня 2021 року

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

ЗМІСТ

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 ПІЩИ 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., ЛЬЧЕНКО М. В. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПРИЛАДОВОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ	46
БЛИК 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 ОБГРУНТУВАННЯ 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., ДАВИДЮК Д. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗОЛІННЯ-ЗНЕВОЛОШУВАННЯ ШКІРЯНОГО ПЕРГАМЕНТУ ЗА НАЯВНОСТІ ПРИРОДНОГО МІНЕРАЛУ ЦЕОЛІТУ	105
КОСЕНКОВ В. Д., ІВЛЕВ Д. А., ВИНАКОВ 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., ДЕМШОНКОВА 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., РАДКОВА 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., СТИЦЮК 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
ЧИЖМОТРИЯ 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

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 LYPKY, 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, YURII ONUFRYCHUK, VALENTINA PUSHKAR, MARIIA SKLADANIUK STOICHIOMETRIC CALCULATIONS IN CHEMISTRY CLASSES	214
MYKOLA RIABCHYKOV, LIUDMYLA NAZARCHUK, VIKTORIA 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, VIKTORIA MYTSA, VIKTORIA 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
OLEKSII 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

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 багатфакторний 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 відмінну 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):

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]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta_i}, \quad (7)$$

де $X_{i0} = \frac{X_{i\max} + X_{i\min}}{2}$, $\Delta_i = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{2}$.

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.

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 $t_{кр} = 2,31$.

Оцінюємо значимість коефіцієнтів b_j за формулою (11):

$$t_0 = 8,4 > t_{кр} = 2,31 \rightarrow b_0 \text{ є значимим};$$

$$t_1 = 2,56 > t_{кр} = 2,31 \rightarrow b_1 \text{ є значимим};$$

$$t_2 = 5,38 > t_{кр} = 2,31 \rightarrow b_2 \text{ є значимим};$$

$$t_3 = 2,4 > t_{кр} = 2,31 \rightarrow b_3 \text{ є значимим}.$$

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 висувають високі вимоги до якості вологочутливих елементів. Тому, з метою оптимізації параметрів створення вологочутливого шару ємнісного сенсора вологості, застосовано метод планування багатofакторного 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 багатofакторного 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 багатofакторного 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 багатofакторного 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». Serii 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. Serii: 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 ahrarykh 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.