

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., Бубулiс 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
ЧИЖМОТРЯ 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 OSYPENKO, 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, 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
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

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: olegryshchuk@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. Продемонстровано, 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 збудуючих 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 обертових 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 обертових електричних машин [6].

Аналіз літературних джерел та попереднього світового досвіду у сфері побудови систем автоматизованого контролю та діагностування обертових 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 обертових 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 обертової 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:

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

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

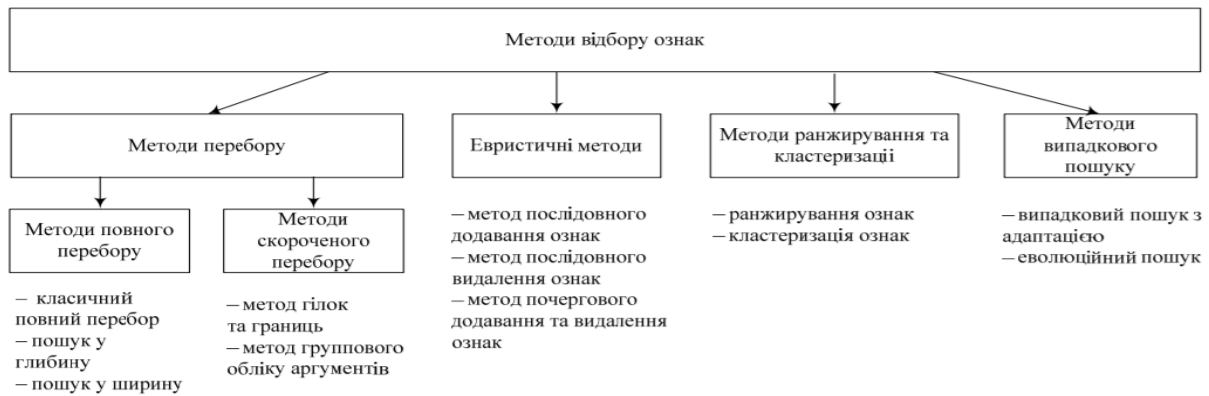


Рис. 2. Систематизація методів, придатних для відбору оптимальної сукупності інформаційних параметрів системи діагностування оборотних електричних машин

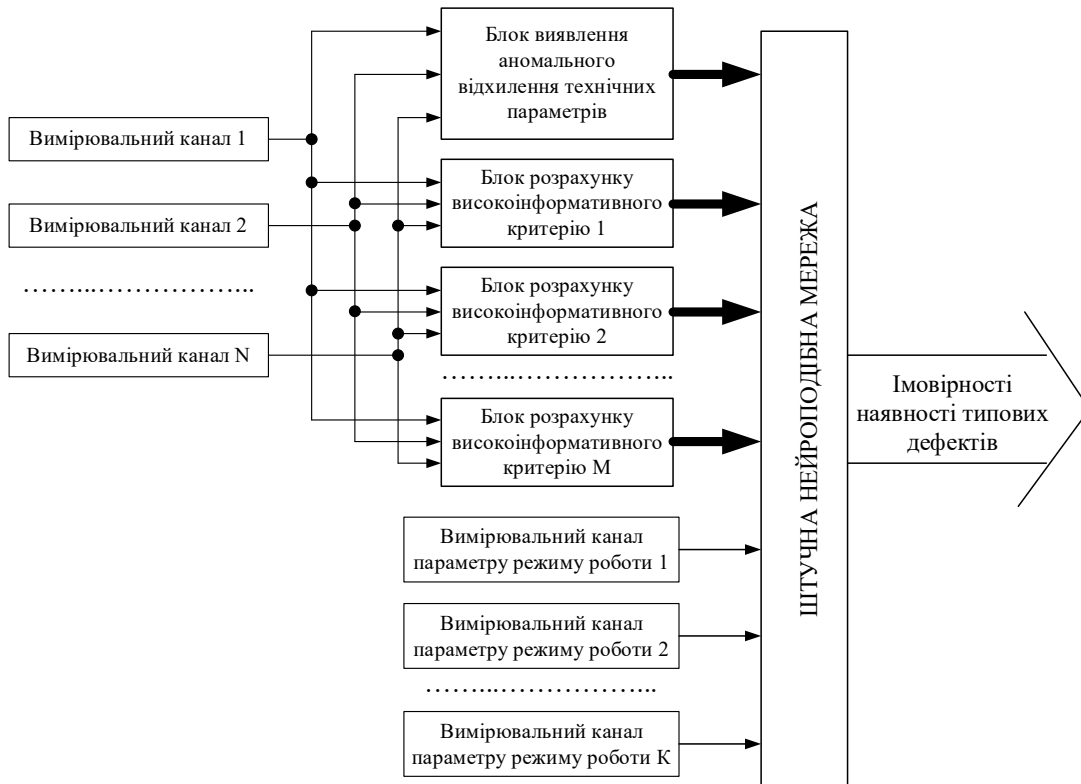


Рис. 3. Структурна схема системи діагностування

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 хромосоמוю – 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 пошуку, 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 неминує 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.

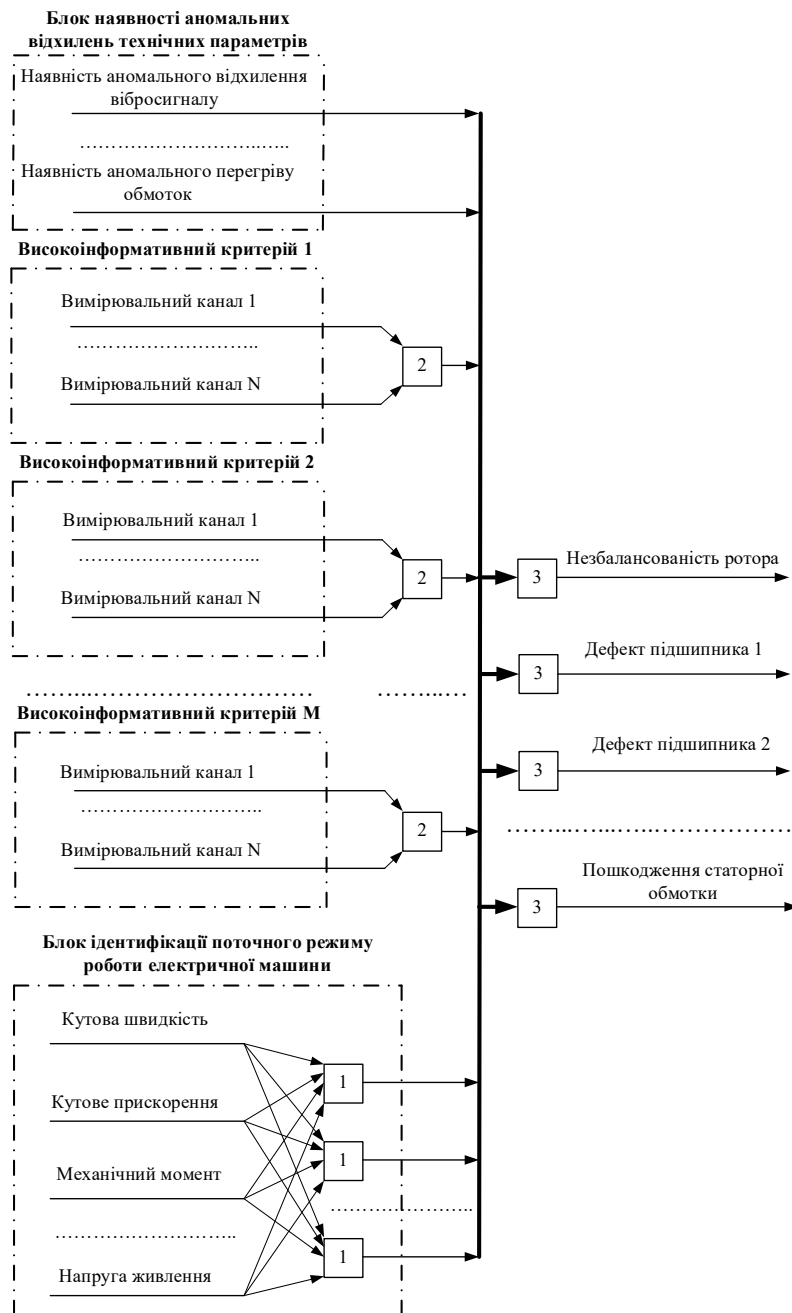


Рис. 4. Структура запропонованої ШНМ

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 взятого 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_j – скорегований j -й інформативний критерій; $\psi(p_j)$ – 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, розрахунків 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 одиначної електричної машини структура такої системи може мати вигляд, наведений на рис. 5.

Пристрій працює наступним чином.

n віброперетворювачів 11-1п здійснюють перетворення рівня віброприскорення, у n ключових вузлах агрегату, в рівень постійної напруги, значення якої підсилюється до значення, придатного для роботи системи у n масштабуючих підсилювачах 61-6п. n 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 n смугових фільтрів 81-8п надходять на входи n 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 мультиплектора 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 вимірального перетворення. Після цього на другому виході першого порту мікроконтролера 13

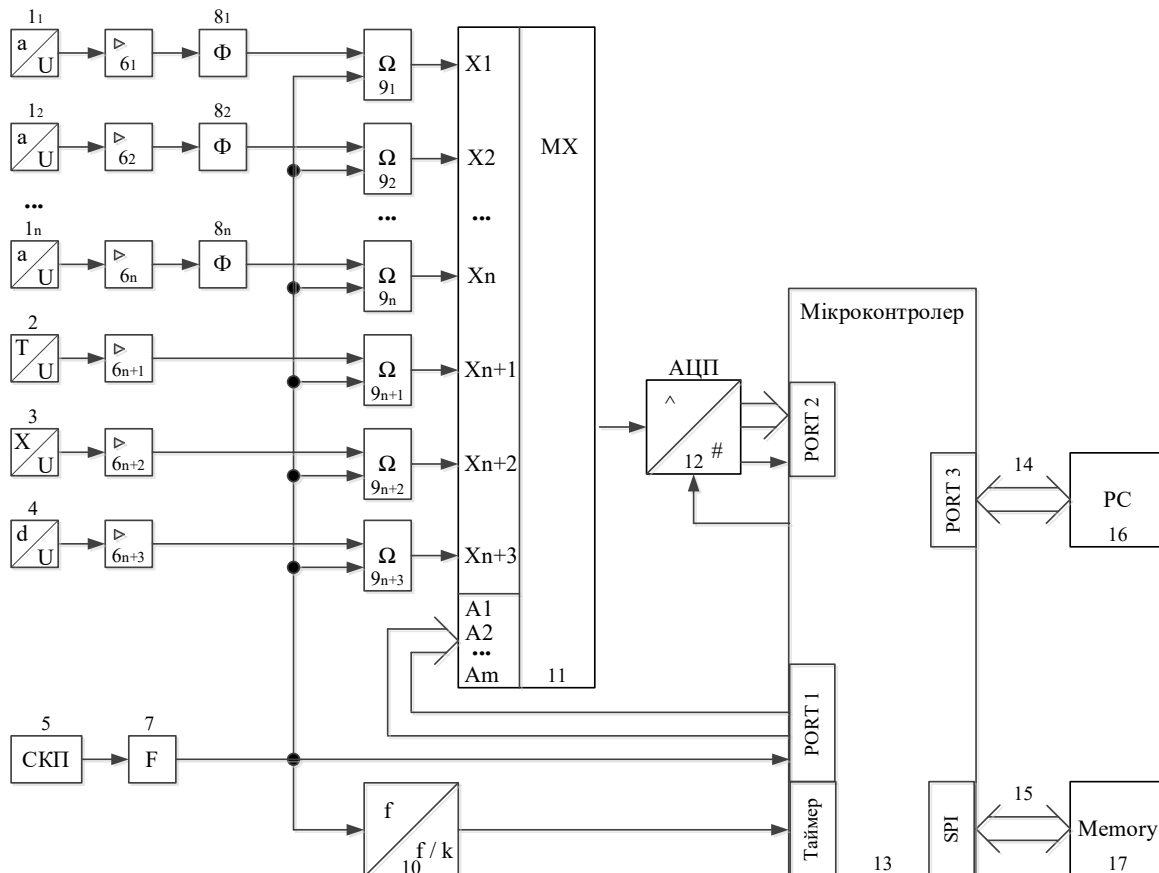


Рис. 5. Структурна схема однієї з найпростіших систем діагностування обертової електричної машини

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 вимірвальна 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 оберт) 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 полюсною 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. Chorny [et al.] – Kremenchuh: 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. Vaskovskiy // *Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy: Zbirnyk naukovykh prats* – 2010 – Vol 26 – P. 105-113.
10. Teoriya mezomasshtabnoj turbulentsii. Vihri atmosfery i okeana / S. Arsenev [et al.] – Moscow: Regulyarnaya 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.