

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

6.2021

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2021, Issue 6, Volume 303

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, 2021, № 6(303)

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

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

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aUUP9OYAAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221
CrossRef	http://doi.org/10.31891/2307-5732

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

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

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

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 11 від 29.12.2021 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, 2021
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2021

ЗМІСТ

ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА

ЯРОШ Я. Д., ГОНЧАРЕНКО Ю. П., ПОЛЕЩУК І. І., ОНИСЬКО В. В. ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО СТВОРЕННЯ ДИСТАНЦІЙНО ДІАГНОСТИЧНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РОЗГАЛУЖЕНИХ ПОВІТРЯНИХ ЛЕП 6-35 кВ НА ОСНОВІ АКТИВНОГО ЗОНДУВАННЯ	7
ЗАСПА Ю. П. КВАНТОВА КОГЕРЕНТНІСТЬ І КАВІТАЦІЯ, КВАЗІДВОВИМІРНА БУЛЬБАШКОВА ТУРБУЛЕНТНІСТЬ, РЕЗОНАНСНА СИНХРОНІЗАЦІЯ МОД, КАСКАДНА ЕНЕРГЕТИКА ТА САМООРГАНІЗАЦІЯ В ГЕТЕРОГЕННИХ СИСТЕМАХ МАСИВНОГО ХІТОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ	15
БОЙКО С. М., ВИШНЕВСЬКИЙ С. Я., МОСКАЛИК В. М., ПОДГОРНИХ Н. В. МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ АВІАЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ	26

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

ГУЛА І. В., ПОЛІКАРОВСЬКИХ О. І. ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ SOFTWARE DEFINED RADIO	31
ФЕДУШКО С. С., БУЧІЙ Н. П. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ В СОЦІАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ INSTAGRAM ...	37
СВЕРСТЮК А. С., ЗАГОРОДНА Н. В., МАРЦЕНЮК В. П., СТАДНИК М. А., СВЕРСТЮК С. А. МОДЕЛЮВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ ІМУНОСЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ НА ПРЯМОКУТНІЙ РЕШІТЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИЦЕВИХ РІВНЯНЬ ІЗ ЗАПІЗНЕННЯМ	41
ЯРМІЛКО А. В., РОЗЛОМІЙ І. О., МИСЮРА Ю. О. ЗАСТОСУВАННЯ ХЕШ-МЕТОДІВ У КРИПТОГРАФІЧНОМУ АНАЛІЗІ ПОТОКІВ ІНФОРМАЦІЇ	49
ЯКОВЧУК М. В., МІХАЛЕВСЬКИЙ В. Ц., МЕДВЕДЧУК Н. К., СКРИПНИК Т. К., СЕМЕНЮК Б. В. ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНА СИСТЕМА НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ	55
БОЙКО Н. І., ШАХОВСЬКА Н. Б., МИХАЙЛИШИН В. Ю. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ КЛАСИФІКАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ ЗА РІВНЕМ СТРЕСОСТІЙКОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНОЇ АВТОАСОЦІАТИВНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	64
КРИВЕНЧУК Ю. П., ЛАВРИК Ю. О. СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДИНИ	69
ПОРТЯНИЙ І. С., ПОСПЄЛОВА К. І., ОЛІЙНИК Ю. О. КОДУВАННЯ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ПОДІБНОСТІ ФРАГМЕНТІВ	73
ЛАВРЕНЧУК С. В., ЗДОЛБЦЬКА Н. В., ХАМУЛА Н. М. ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ НА ГРАФАХ	81
ЛП'ЯНИНА-ГОНЧАРЕНКО Х. В., КОМАР М. П., ЛЕНДЮК Т. В., ГРАМЯК Р. М. МЕТОД ВИБОРУ КОНКУРЕНТНОГО ТОВАРУ НА ОСНОВІ ЕМОЦІЙНОГО ЗАБАРВЛЕННЯ ВІДГУКІВ	86

ПИРИГ Ю. В., КЛИМАШ М. М., ПИРИГ Я. Р. ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА НАЛАШТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО РЕЄСТРАТОРА РОЗРАХУНКОВИХ ОПЕРАЦІЙ В УКРАЇНІ	89
УТКІНА Т. Ю., РЯБЦЕВ В. Г. МОНІТОРИНГ РОЗВИТКУ КУРЯЧИХ ЯЄЦЬ НА БАЗІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ РОЗПІЗНАВАННЯ СТАНУ ЕМБРІОНІВ	95
БАРМАК О. В., РАДЮК П. М., МОЛЧАНОВА М. О., СОБКО О. В. ПІДХОДИ ДО ПРАКТИЧНОГО АНАЛІЗУ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ	102
КЛЬОЦ Ю. П., КОРЕЦЬКА Л. О. МЕТОД ЗАХИСТУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ	106
PAVLO RADIUK, OLEXANDER MAZURETS, TETIANA SKRYPNYK, OLEKSANDR MOROZ INTELLIGENT DATA ANALYSIS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR DECISION MAKING IN THE EDUCATION DOMAIN	111
ДЬОГТЄВА І. О., ШИЯН А. А. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГРУПИ РЕАГУВАННЯ НА ІНЦИДЕНТИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ КІБЕРАТАКАХ	115
МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО	
БРАЦЛАВЕЦЬ Б. С. ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СПОСОБУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	124
ЯНШЕВСЬКИЙ В. Ю. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ	128
ДРАЧ І. В. УЗАГАЛЬНЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОЛИВАНЬ РОТОРНОЇ СИСТЕМИ З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ	132
КАРАЗЕЙ В. Д., СОКОЛАН К. С., КУШНІРЧУК А. С., КАЛІНІН О. В. МОДЕРНІЗАЦІЯ ПОВОРОТНОГО СТОЛА ДЛЯ ВЕРСТАТА З ЧПК	142
ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г., ПАНАСЮК І. В. ВИЗНАЧЕННЯ ДЕЯКИХ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ТИПУ «TURBULA»	147
АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА	
VLADIMIR KRASILENKO, YURCHUK NATALIYA, ALEXANDER LAZAREV THE NEW BASIC REALIZATIONS OF OPERATIONS "EQUIVALENCE" OF NEURO-FUZZY AND BIOINSPIRED NEURO-LOGICS TO CREATE HARDWARE ACCELERATORS OF ADVANCED EQUIVALENTAL MODELS OF NEURAL STRUCTURES AND MACHINE VISION SYSTEMS	153
КУЧЕРЕНКО О. К. ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ ПЕРЕДАЧІ МОДУЛЯЦІЇ ОПТИЧНОГО ПЕРЕДАВАЧА ПРИ НАЯВНОСТІ ПОХИБОК БАЗУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАЧА	167
ЯЛИНА О. О. АНАЛІЗ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ	171
БЕЗВЕСІЛЬНА О. М., НЕЧАЙ С. О., ГОРЖИЙ І. В. МЕТОДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ	174

КАРПОВА Л. В., БОЙКО А. О. ВПЛИВ РОЗМІЩЕННЯ ОДНІЄЇ ТА КІЛЬКОХ АНТЕН НА ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ С2С	181
ОСАДЧУК О. В., ОСАДЧУК Я. О., СКОЩУК В. К. БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ЧАСТОТОМІР НА ПРОГРАМОВАНІЙ ЛОГІЧНІЙ ІНТЕГРАЛЬНІЙ СХЕМІ ДЛЯ РАДІОВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ З ЧАСТОТНИМИ СЕНСОРАМИ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН	186
ЧЕРЕПАНСЬКА І. Ю., БЕЗВЕСІЛЬНА О. М., НІЧИК В. С., КОТЛЯР С. С., НЕЧАЙ С. О. АВТОМАТИЗОВАНА ГРАВІМЕТРИЧНА СИСТЕМА З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПОШУКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН	195
ЛАКТИОНОВ І. С., ВОВНА О. В., БОРИЧЕВСЬКИЙ В. В. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ І ТЕСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КЕРУВАННЯ ШТУЧНИМ ДООСВІТЛЕННЯМ ТЕПЛИЦЬ	201
ЛУЖАНСЬКИЙ В. І., КАРПОВА Л. В., КАНЮКА М. О. ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ЦИФРОВИХ ПОТОКІВ ІНФОРМАЦІЇ В МЕРЕЖАХ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ VSAT ПРИ ВІДПОВІДНИХ СПІВВІДНОШЕННЯХ СИГНАЛ/ШУМ НА ЙМОВІРНІСТЬ БІТОВОЇ ПОМИЛКИ	207
ЛЮБЧИК В. Р., МАЗУР М. П., МАКАРИШКІН Д. А. МЕТОДИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ	216
МАКАРИШКІН Д. А., ЗОРЯ В. О., ГОРЯЩЕНКО К. Л. ОГЛЯД ОСНОВНИХ ВЕКТОРІВ РОЗВИТКУ РАДІОТЕХНОЛОГІЙ 5G ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОДНОЧАСНОГО ДОСТУПУ	221
МАКАРИШКІН Д. А., ЛЮБАРСЬКИЙ М. В., МІШАН В. В. СУЧАСНІ РАДІОТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЗВ'ЯЗКУ M2M	225

ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

БАБИЧ А. І., КЕРНЕС В. П., БІЛОУС П. В. ІННОВАЦІЇ В ДИЗАЙНІ ВИРОБІВ ІНДУСТРІЇ МОДИ, НЕ ТИПОВІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ	229
ГАВЕНКО С. Ф., НАЗАР О. Р., КОЧУБЕЙ В. В., ПЕЛИК Л. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ ТЕРМОТРАНСФЕРНОГО ДРУКУ НА БАВОВНЯНОМУ ТЕКСТИЛЬНОМУ МАТЕРІАЛІ	235
КУЧЕРЕНКО Ю. С., МАТВІЙЧУК В. А. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СПОСОБИ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ ГАЗОТЕРМІЧНИМ НАПИЛЕННЯМ	240
ЩЕРБАНЬ В. Ю., КОЛИСКО О. З., КОЛИСКО М. І., КИРИЧЕНКО А. М., ЩЕРБАНЬ Ю. Ю. ПРОГРАМНІ КОМПОНЕНТИ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ВИЗНАЧЕННІ НАТЯГУ НИТКИ НА СНУВАЛЬНИХ МАШИНАХ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ	243
OLEKSIY MYRONYUK, DENYS BAKLAN, JIA ZILONG THE USE OF HYDROPHOBIZED PERLITE AS THE BASE LAYER OF SUPERHYDROPHOBIC COATINGS	247
ПАХОЛЮК О. В., ПУШКАР Г. О., ГАЛИК І. С., СЕМАК Б. Д. ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ТЕКСТИЛЬНОЇ НАНООСВИТИ В УКРАЇНІ	251
ТИМОЩУК О. Г. РОЗРОБКА І АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ІНЖЕНЕРНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІЖКОНТАКТНОГО ОБ'ЄМУ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ГЕРМЕТИЧНОСТІ БЕЗЗМАЦУВАЛЬНИХ ПОРШНЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ	256

БАБИЧ А. І., ПОПОВКІН І. А.
РОЗРОБКА КОЛЕКЦІЇ СУЧАСНОГО ВЗУТТЯ ЖІНОЧОГО АСОРТИМЕНТУ
З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКОМАТЕРІАЛІВ 260

**ХОРОЛЬСЬКИЙ В. П., ОМЕЛЬЧЕНКО О. В., КОРЕНЕЦЬ Ю. М.,
ГОНЧАРЕНКО В. А., ПЕТРУШИНА Ю. М.**
ХОЛОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ КАМЕР СМАРТ-ПРОМИСЛОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ
ІЗ СИСТЕМАМИ НЕЙРО-НЕЧІТКОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ЗАМОРОЖУВАННЯ
ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ 264

ПОПОВА С. Ю., ГОПКАЛО Л. М., ВІТІВ І. В.
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОЇ МОЛОЧНОЇ СИРОВИНИ
У ТЕХНОЛОГІЯХ ПРОДУКЦІЇ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА 272

ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

СТИСЛО Т. Р., ВАЩИШАК С. П., БОЙЧУК А. М., РИБАЧОК І. І.
АЛГОРИТМИ АГРЕГАЦІЇ ПОВІДОМЛЕНЬ ЗВОРОТНЬОГО ЗВ'ЯЗКУ ОТОВЛЕННЯ 277

ЯНІШЕВСЬКИЙ В. Ю.

Вінницький національний аграрний університет

ORCID: 0000-0003-4467-6654

e-mail: vasyli.yuriiiovych@gmail.com

ОБґРУНТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ

У статті розглядаються результати кваліметричної експертизи методів технічної діагностики гідравлічних систем. Наведено класифікацію методів технічної діагностики гідравлічних систем, на основі якої виконано порівняльний аналіз даних методів. Розглядаються також математичні процедури обробки матриці оцінок експертів із використанням критерію «сигнал/шум».

Ключові слова: гідравлічний привід, технічна діагностика, експертна оцінка, кваліметрична експертиза, гнучка технологія, обчислювальна техніка, автоматизовані системи.

VASYL YANISHEVSKYY
Vinnytsia National Agrarian University

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF THE AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

The article considers the results of qualimetric examination of methods of technical diagnostics of hydraulic systems. The theoretical analysis of methods of technical diagnostics of hydraulic systems is carried out, where their characteristics were studied and the advantages and disadvantages of each method from the list are considered. Also, the criteria that guide the choice of a method of diagnostics of hydraulic systems were determined, a matrix of evaluations of experts to assess the informativeness of methods of technical diagnostics of hydraulic systems. The results of the examination on the criterion "signal / noise" were processed. Thus, according to the results of expert evaluation, the most preferred methods for the diagnosis of hydraulic systems are: the method of diagnosis by the parameters of the working fluid, temporal, vibroacoustic and thermal methods. Use of the chosen diagnostic methods will allow to estimate precisely a technical condition of hydraulic system and its residual technical resource. The classification of methods of technical diagnostics of hydraulic systems on the basis of which the comparative analysis of these methods is executed is presented. Mathematical procedures for processing the matrix of expert estimates using the signal-to-noise criterion are also considered. Based on the results of evaluation of diagnostic methods of hydraulic systems of technological equipment for various purposes using the criterion "signal / noise" a certain combination of methods can be formed, which will be optimal for assessing the technical condition of hydraulic system of a particular technological machine.

Keywords: hydraulic drive, technical diagnostics, expert assessment, qualimetric examination, flexible technology, computer technology, automated systems.

Вступ

Сучасна економіка характеризується неухильним зростанням парку складних та дорогих технічних систем, до яких належать і гідравлічні приводи. Гідравлічні приводи застосовуються у різних галузях техніки як виконавчі органи систем управління та автоматизації технологічних процесів, приводів робочих органів машин. Високий рівень технічної складності гідравлічних систем, а також високі вимоги до їх безпеки, безвідмовності та довговічності роблять дуже важливою точну оцінку їхнього технічного стану в процесі експлуатації. Ефективність експлуатації гідрофікованих машин істотно залежить від наявності сучасних методів та засобів діагностування машин загалом та гідравлічних систем зокрема.

Параметри гідравлічних систем технологічних машин, що змінюються при експлуатації, оцінюються різними діагностичними методами, що володіють певними перевагами і недоліками. Вибір методів діагностування істотно залежить від типу, призначень та умов експлуатації гідравлічних систем, і навіть від оснащення експлуатаційних підрозділів засобами діагностики [2].

Виклад основного матеріалу

Достовірність оцінки технічного стану гідравлічних систем та приводів суттєво залежить від досконалості методів їхньої діагностики. Основним показником, що визначає достовірність, є похибка діагностування. Існує досить велика різноманітність методів контролю параметрів гідравлічних систем, що змінюються в процесі експлуатації [1, 2]. На рис. 1 представлена класифікаційна схема методів діагностики гідравлічних систем, що найчастіше використовуються на практиці. Розглянемо далі кожен із методів докладніше.

Органолептична діагностика складає основу аналізу сприйняття органів чуття: зору, нюху, слуху, дотику, смаку. Таким чином, перевіряється зовнішня герметичність елементів гідроприводу, температура корпусів гідравлічних пристроїв, відносний рівень вібрацій і шуму гідромашин та інших загальних параметрів гідросистем. Перевагами органолептичного методу діагностики є низька трудомісткість та відсутність необхідності застосування засобів вимірювання. Недоліками цього методу є низька точність оцінки і суб'єктивність результатів. Така діагностика може застосовуватися для простих гідросистем та гідросистем з легкими режимами роботи, для яких застосування інструментальних засобів є економічно недоцільним.

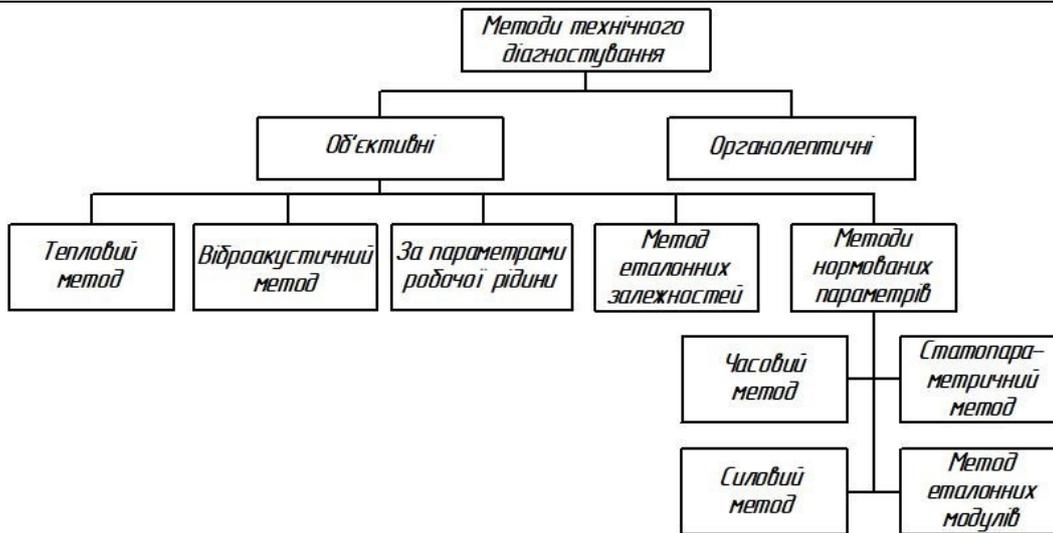


Рис. 1. Методи технічної діагностики гідравлічних систем

Тимчасовий метод діагностики заснований на визначенні часу виконання робочих операцій виконавчими органами гідравлічної системи, що діагностується. Перевагою даного методу є простота реалізації та низька трудомісткість. Недоліками цього методу є низька точність через складність забезпечення стаціонарних режимів роботи, що досить точно повторюються, необхідність використання приладів вимірювання часу, а також низька інформативність.

Статопараметричний метод заснований на вимірі витрати і тиску встановленого задросельованого потоку робочої рідини. Цей метод дозволяє оцінювати об'ємний коефіцієнт корисної дії (ККД), і за його величиною оцінювати та прогнозувати стан гідроприводу в цілому та його складових частин. Перевагою цього методу є висока точність. Серед недоліків цього методу слід відзначити високу трудомісткість, необхідність роз'єднання трубопроводів для встановлення датчиків на кожному агрегаті, необхідність застосування цілої гама датчиків для різних типорозмірів агрегатів [2, 3].

Силовий метод діагностики заснований на визначенні величини сили, що розвивається виконавчими органом діагностованої гідросистеми – гідроциліндром або гідромотором. Перевагою силового методу є низька трудомісткість. Недоліками методу є низька інформативність і труднощі практичного застосування через необхідність використання гідрофікованої машини будь-яких габаритів навантажувальних пристроїв.

Метод еталонних модулів заснований на порівнянні експериментально визначених значень параметрів (потужності, ККД, сили, що розвивається, крутних моментів, тиску, подачі, переміщень тощо) гідравлічного приводу в цілому та його окремих агрегатів з їх паспортними значеннями або з нормами технічних умов.

Метод еталонних залежностей заснований на порівнянні експериментально отриманих функціональних залежностей параметрів гідравлічної системи та її окремих агрегатів з еталонними залежностями, отриманими розрахунковим чи експериментальним шляхом. Перевагами такого методу є висока точність та інформативність, а також можливість діагностики без відключення гідроприводу від роботи. Недоліками цього є використання складного і відносно дорогого діагностичного обладнання, оскільки у більшості випадків при діагностуванні цим методом застосовуються непрямі ознаки.

Діагностика за параметрами робочої рідини виходить із того, що робоча рідина є носієм комплексної інформації про роботу системи, оскільки вона омиває всі елементи системи. До основних переваг використання даного методу діагностики відноситься висока інформативність, можливість оцінки стану гідроприводу без зупинки роботи обладнання та розбирання; можливість автоматизації. Недоліками даного методу є висока трудомісткість та необхідність використання дорогого обладнання.

Вібраакустичний метод діагностики ґрунтується на вимірі акустичної емісії, зумовленої вібраціями об'єктів діагностування. Метод передбачає вимірювання зазорів у з'єднаннях деталей за величинами їх вібраційних характеристик і акустичними шумами, що виникають у роботі машини, яка діагностується. Сутність методу полягає в тому, що в міру зносу механізмів або при виникненні дефектів змінюється характер шуму і вібрацій. Перевагами даного методу контролю є висока інформативність вібраакустичних сигналів, простота перетворення в електричні сигнали і, отже, можливість автоматизації процесу контролю. Недоліками методу є необхідність застосування спеціальних перетворювачів для поділу корисних сигналів та перешкод.

Тепловий метод діагностики заснований на оцінці розподілу температури на поверхнях вузлів та агрегатів, а також перепадів температур циркулюючої робочої рідини. Перевагами цього методу є висока точність оцінки стану, низька трудомісткість та можливість автоматизації. Недоліками цього методу є необхідність застосування спеціальних високочутливих електронних перетворювачів [2].

Різноманітність методів діагностики, які можуть бути використані для визначення стану гідравлічних систем технологічних машин та обладнання різного призначення, ускладнює вибір методу діагностики, який слід застосувати до конкретної технологічної машини. Для обґрунтування вибору методу

діагностики або їх сукупності для визначення технічного стану гідравлічної системи пропонується використовувати критерій сигнал/шум, запропонований Г. Тагуті.

Критерій «сигнал/шум» – це відношення або величина, утворена перетворенням даних відгуку, представлених у логарифмічному вигляді для надання даних адитивності [3]. Відношення «сигнал/шум» дозволяє проводити порівняння різних альтернатив. В даному випадку, для визначення критерію сигнал/шум проводиться опитування експертів про застосування (потужності) даного методу для кожного випадку, що розглядається. Оцінка експерта – це відгук (y_i), а факторами (x_j), які впливають на оцінку експерта (відгук), є методи діагностики гідравлічних систем. Чим більша величина відношення «сигнал/шум», тим кращим є метод діагностики для заданих умов експлуатації гідрофікованої машини.

Основними критеріями, якими керуються при виборі того чи іншого методу діагностики гідравлічних систем, є:

- 1) інформативність та точність результатів діагностики;
- 2) можливість діагностики без зупинки роботи гідравлічного обладнання та його розбирання;
- 3) трудомісткість виконання діагностичних процедур;
- 4) необхідність застосування спеціальних технічних засобів діагностики;
- 5) можливість автоматизації процесу діагностування.

Для оцінки методів діагностики гідравлічних систем за кожним критерієм можна використовувати бланк у форматі таблиці 1. Експерт на основі вивчення теоретичних матеріалів та прикладів практичного використання методів діагностики гідравлічних систем виставляє бали кожному методу (2 бали – повна відповідність критерію; 1 бал – часткова відповідність; 0 балів – невідповідність критерію). Потім оцінки експертної групи систематизуються для розрахунків критерію сигнал/шум [4].

Експертна група включає сім експертів, що являють собою фахівців у галузі проектування, діагностики, обслуговування та експлуатації гідрофікованого технологічного обладнання. Дана кількість експертів є оптимальною, оскільки при меншій кількості експертів оцінка кожного з них надмірно впливає на підсумкову оцінку, а велика кількість експертів ускладнює формування узгодженої думки. Рекомендована кількість експертів при кваліметричній оцінці технічного об'єкта – від 6 до 15 [1, 4].

Величина критерію «сигнал/шум» $C / Ш$ розраховується за формулою:

$$\frac{C}{Ш} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}}{D} \right)^2,$$

де \bar{y} – математичне очікування оцінки експерта; D – дисперсія.

Дисперсія визначається за формулою:

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(y_i - \bar{y} \right)^2,$$

де y_i – оцінка i -го експерта; n – кількість експертів.

На основі наведених вище критеріїв і самого способу оцінки була проведена експертна оцінка застосування того чи іншого методу технічної діагностики для визначення технічного стану гідравлічної системи в процесі експлуатації. Результати оцінки, і розрахунок критерію «сигнал/шум» кожного методу діагностики представлені у таблицях 1 і 2 відповідно.

Таблиця 1

Матриця експертів з оцінки інформативності методів технічної діагностики гідравлічних систем

Метод діагностики	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	Експерт 5	Експерт 6	Експерт 7
Органолептичний метод ($Q_{1.1}$)	02220	02120	02210	02220	02120	01220	02210
Часовий метод ($Q_{1.2}$)	12112	12212	12211	12112	12221	12212	12112
Статопараметричний метод ($Q_{1.3}$)	21111	21110	20121	20111	21111	20012	21110
Силовий метод ($Q_{1.4}$)	12102	12111	12202	12101	11211	12112	12111
Метод еталонних модулів ($Q_{1.5}$)	11111	10211	11020	10120	11111	12010	11101
Метод еталонних залежностей ($Q_{1.6}$)	21011	22000	22010	21100	20200	21101	21001
Метод діагностики за параметрами робочої рідини ($Q_{1.7}$)	22202	22112	22111	21202	22202	22202	21202
Віброакустичний метод ($Q_{1.8}$)	12212	21112	22102	12212	21202	21212	22202
Тепловий метод ($Q_{1.9}$)	12202	12212	12212	12202	12212	12202	12212

Обробка результатів експертизи за критерієм «сигнал/шум»

Метод діагностики	Оцінка експерта № (y_i)							$\sum_{i=1}^n y_i$	\bar{y}	$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	β	D	С/Ш
	1	2	3	4	5	6	7						
$Q_{1.1}$	6	5	5	6	5	5	5	37	5,29	1,43	0,23	0,24	20,67
$Q_{1.2}$	7	8	7	7	8	8	7	52	7,43	1,71	0,18	0,29	22,79
$Q_{1.3}$	6	5	6	5	6	5	5	38	5,43	1,71	0,24	0,29	20,07
$Q_{1.4}$	6	6	7	5	6	7	6	43	6,14	2,86	0,28	0,48	18,95
$Q_{1.5}$	5	5	5	4	5	4	4	32	4,57	1,71	0,29	0,29	18,57
$Q_{1.6}$	5	4	5	4	4	5	4	31	4,43	1,71	0,3	0,29	18,30
$Q_{1.7}$	8	8	7	7	8	8	7	53	7,57	1,71	0,17	0,29	22,96
$Q_{1.8}$	8	7	7	8	7	8	8	53	7,57	1,71	0,17	0,29	22,96
$Q_{1.9}$	7	8	8	7	8	7	8	53	7,57	1,71	0,17	0,29	22,96

У крайніх лівих стовпцях обох таблиць наведено найменування основних методів діагностики гідравлічних систем, які можуть бути використані для аналізу визначення його технічного стану. В інших стовпцях наведено оцінки експертів відповідно до наведеної вище шкали. Узгодженість оцінок експертів перевіряється за допомогою коефіцієнта варіації β , який не повинен перевищувати 0.3.

Висновки

Таким чином, за результатами експертної оцінки найкращими методами для діагностики гідравлічних систем є: метод діагностики за параметрами робочої рідини, тимчасовий, віброакустичний та тепловий методи. Використання вибраних методів діагностики дозволить точно оцінити технічний стан гідравлічної системи та її залишковий технічний ресурс. За результатами оцінки методів діагностики гідравлічних систем технологічного обладнання різного призначення з використанням критерію «сигнал/шум» може бути сформована певна комбінація методів, яка буде оптимальна для оцінки технічного стану гідравлічної системи конкретної технологічної машини, виходячи з умов її експлуатації.

Література

1. Трушин Н.Н. Организационно-технологическая структура производственного процесса на машиностроительном предприятии: монография. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2003. – 230 с.
2. Королькевич, А.В. Многофункциональный гидропривод мобильных машин / А.В. Королькевич, М.И. Жилевич // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2 010. – №6. – С. 58–61 (Белоруссия).
3. Богдан Н.В., Жилевич М.И., Красневский Л.Г. Техническая диагностика гидросистем: научное издание. – Мн.: Белавтотракторостроение, 2000. – 120 с.
4. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин: монография / Н.Н. Горбатенко [и др.]; под общ. ред. В.П. Тарасика. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 511 с.

References

1. Trushin N.N. Organizatsionno-tehnologicheskaya struktura proizvodstvennogo protsessa na mashinostroitel'nom predpriyatii: monografiya. – Tula: Izd-vo TulGU, 2003. – 230 s.
2. Korol'kevich, A.V. Mnogofunktsional'nyy gidroprivod mobil'nykh mashin / A.V. Korol'kevich, M.I. Zhilevich // Vestnik Belorusskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. – 2 010. – №6. – S. 58–61. (Belorussiya).
3. Bogdan N.V., Zhilevich M.I., Krasnevskiy L.G. Tekhnicheskaya diagnostika gidrosistem: nauchnoye izdaniye. – Mн.: Belavtotraktorstroyeniye, 2000. – 120 s.
4. Diagnostirovaniye gidromekhanicheskikh peredach mobil'nykh mashin: monografiya / N.N. Gorbatenko [i dr.]; pod obshch. red. V.P. Tarasika. – Mogilev: Belarus.-Ros. un-t, 2010. – 511 s.

Рецензія/Peer review : 20.11.2021 р.

Надрукована/Printed :11.01.2022 р.