

ISSN 2307-5732  
DOI 10.31891/2307-5732

**Науковий журнал**

---



# **ВІСНИК**

**Хмельницького національного  
університету**

---

***Технічні науки***

---

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

**2.2021**

---

# ВІСНИК

**Хмельницького**

**національного**

**університету**

**Технічні науки**

---

**Technical sciences**

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2021, Issue 2, Volume 295

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, № 2(295)**

---

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

Включено до науково-метричних баз:

<b>Google Scholar</b>	<a href="http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&amp;user=aIUP9OYAAAAAJ">http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&amp;user=aIUP9OYAAAAAJ</a>
<b>Index Copernicus</b>	<a href="http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&amp;id_lang=3">http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&amp;id_lang=3</a>
<b>Polish Scholarly Bibliography</b>	<a href="https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221">https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221</a>
<b>CrossRef</b>	<a href="http://doi.org/10.31891/2307-5732">http://doi.org/10.31891/2307-5732</a>

<b>Головний редактор</b>	<b>Скиба М. Є.</b> , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор Хмельницького національного університету
<b>Заступник головного редактора</b>	<b>Синюк О. М.</b> , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
<b>Відповідальний секретар</b>	<b>Горященко С. Л.</b> , 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), **Кальчинські 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 № 17 від 27.05.2021 р.**

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

	(038-2) 67-51-08	<b>web:</b>	<a href="http://journals.khnu.km.ua/vestnik">http://journals.khnu.km.ua/vestnik</a>
<b>e-mail:</b>	<a href="mailto:visnyk.khnu@khmnu.edu.ua">visnyk.khnu@khmnu.edu.ua</a>		<a href="http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm">http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm</a>
	<a href="mailto:visnyk.khnu@gmail.com">visnyk.khnu@gmail.com</a>		

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

© Хмельницький національний університет, 2021  
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2021

## ЗМІСТ

## ЕКОЛОГІЯ

<b>Г.Д. КОБИЩАН, Ю.О. БАСОВА, Л.М. ГУБА, А.С. ТКАЧЕНКО</b> ОСОБЛИВОСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАНДАРТИЗАЦІЇ Й СЕРТИФІКАЦІЇ МИЙНИХ ЗАСОБІВ .....	7
<b>Ю.С. СОКОЛАН, Л.В. КУЧЕРЕНКО</b> АНАЛІЗ ДОСВІДУ ПЛАНУВАННЯ СИСТЕМИ БЛАГОУСТРОЮ ЖИТЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ .....	17
<b>РОМАН КАМІНСЬКИЙ, НАТАЛІЯ ШАХОВСЬКА, БОГДАН ХУДОБА</b> ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ТЕКСТІВ РІЗНИХ СТИЛІВ, ПОДАНИХ ЦІЛОЧИСЕЛЬНИМИ ЕКВІДИСТАНТНИМИ ПОСЛІДОВНОСТЯМИ КІЛЬКОСТІ ЛІТЕР У СЛОВАХ .....	26

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

<b>І.З. МАНУЛЯК, С.І. МЕЛЬНИЧУК, С.П. ВАЩИШАК, С.М. РУДАК</b> РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ КОВЗНОЇ МЕДІАНИ НА ПЛІС ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ СЕНСОРІВ .....	35
<b>Д.В. СТАЦЕНКО, Б.М. ЗЛОТЕНКО, С.Г. НАТРОШВІЛІ, Т.І. КУЛІК, С.А. ДЕМШОНКОВА</b> КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ПРИМІЩЕНЬ .....	40
<b>Т.В. СІЧКО</b> МЕТОД РАНЖУВАННЯ НА ІНФОРМАЦІЙНО-ДОВІДКОВИХ САЙТАХ .....	45
<b>О.В. БАРМАК, П.М. РАДЮК</b> ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВІЗУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ РЕНГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ПНЕВМОНІЇ .....	52
<b>С.Т. БАРАСЬ, Л.В. КРУПЕЛЬНИЦЬКИЙ, О.В. ОНИЩУК</b> ВИМІРЮВАННЯ ОПОРНОЇ ЧАСТОТИ ВУЗЬКОСМУГОВОГО РАДІОСИГНАЛУ ОБМЕЖЕНОЇ ТРИВАЛОСТІ .....	56
<b>В.С. ЯКОВИНА, Б.В. УГРИНОВСЬКИЙ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМНИХ ПРОЦЕСІВ ТА КОРИСТУВАЦЬКИХ ДОДАТКІВ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ANDROID В КОНТЕКСТІ ЯВИЩА СТАРІННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	64
<b>І.А. КОТОВ</b> АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОТИАВАРІЙНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ НА ОСНОВІ ЛОГІКО-ІМОВІРНІСНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОДУКЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ ПЕТРІ .....	71
<b>В.Г. КРАСИЛЕНКО, Н.П. ЮРЧУК, Д.В. НІКІТОВИЧ</b> ЗАСТОСУВАННЯ ІЗОМОРФНИХ МАТРИЧНИХ ПРЕДСТАВЛЕНЬ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТОКОЛУ УЗГОДЖЕННЯ СЕКРЕТНИХ КЛЮЧІВ-ПЕРЕСТАНОВОК ЗНАЧНОЇ РОЗМІРНОСТІ ...	78
<b>П.Г. РЕГІДА, І.А. КОМІСАРОВ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ПЛАНУВАННЯ ОБЧИСЛЕНЬ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ БУЛЬБАШКОВОГО РОЗПОДІЛУ В РІЗНИХ ТОПОЛОГІЯХ .....	89
<b>К.Р. СЕНІВА</b> СПОСОБИ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ ІГРАХ .....	97
<b>Ю.П. КРИВЕНЧУК, О.І. ГРИЦИК</b> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИБОРУ МАЙБУТНЬОЇ ПРОФЕСІЇ .....	101

<b>Ю. П. КРИВЕНЧУК, С.В. ГЕЛЕТІЙ</b> КОНЦЕПЦІЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕКСТУ В БІТОВУ КАРТУ З ВИКОРИСТАННЯМ БУДЬ-ЯКОГО ШРИФТУ .....	105
--	-----

<b>Т.В. РОМАНЕНКО, Н.Г. РУСІНА</b> ВИКОРИСТАННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ .....	109
--	-----

### МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<b>М.Г. ЗАЛЮБОВСЬКИЙ, І.В. ПАНАСЮК</b> ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОГО МОМЕНТУ ОПОРУ ВЕДУЧОГО ВАЛУ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ, СТВОРЕНОГО МАСОЮ СИПКОГО СЕРЕДОВИЩА У РОБОЧІЙ ЄМКОСТІ .....	116
--	-----

<b>О.О. ЯЛИНА</b> ДІАГНОСТИКА І ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ .....	123
--	-----

<b>В.Ю. ЯНІШЕВСЬКИЙ</b> УНІВЕРСАЛЬНИЙ ГІДРАВЛІЧНИЙ ПРИВІД ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ .....	127
--	-----

<b>М. І. СТАДНІК, А. А. ВИДМИШ, С. А. ШАРГОРОДСЬКИЙ, В. С. РУТКЕВИЧ</b> САМООЧИСНИЙ ФІЛЬТР ДЛЯ ЗАМКНУТИХ ГІДРОСИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ОБЛАДНАННЯ .....	130
---	-----

### ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА

<b>М.С. СКИБА, О.В. МІСЯЦЬ, А.О. ПОЛЩУК, В.П. МІСЯЦЬ, М.М. РУБАНКА</b> СИСТЕМА АДАПТИВНОГО ЧАСТОТНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ АСИНХРОННОГО ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПРИВОДУ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ .....	139
---	-----

<b>О.М. БЕЗВЕСІЛЬНА, Ю.В. КИРИЧУК, Н.М. НАЗАРЕНКО, А.Г. ТКАЧУК</b> АВТОМАТИЗОВАНИЙ ДВОКАНАЛЬНИЙ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИЙ ГРАВІМЕТР АГС .....	147
---	-----

<b>Г.І. БАРИЛО, І.І. ГЕЛЬЖИНСЬКИЙ, Р.Л. ГОЛЯКА, Т.А. МАРУСЕНКОВА, М.О. ХІЛЬЧУК</b> ВБУДОВАНА СИСТЕМА КОНВЕРТЕРА НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ ОРГАНІЧНИХ СВІТЛОДІОДІВ .....	151
---	-----

<b>О.В. ОСАДЧУК, В.С. ОСАДЧУК, Я.О. ОСАДЧУК</b> ДОСЛІДЖЕННЯ СЕНСОРА ТЕМПЕРАТУРИ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ НА ОСНОВІ КВАНТОВОЇ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ З ВІД'ЄМНИМ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ОПОРОМ .....	156
---	-----

<b>О.Ю. КІМСТАЧ, І.М. ІЛЛЯШЕНКО, А.О. ЖЕЖЕЛО</b> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРИФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА З УРАХУВАННЯМ АСИМЕТРІЇ МАГНІТОПРОВОДУ .....	165
--	-----

<b>О.М. БЕЗВЕСІЛЬНА, М.В. ІЛЬЧЕНКО, С.С. КОТЛЯР</b> КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИЛАДОВИХ КОМПЛЕКСІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ .....	172
--	-----

<b>О.Я. ВОЛОШАНЮК, О.В. НЕЧИПОРЕНКО</b> ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕДУКЦІЙНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК ПРАЦЮЮЧИХ НА БАЗІ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ .....	176
--	-----

### АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

<b>М.В. ВАСИЛЬЄВ, А.І. БРУНЕТКІН</b> НАЛАШТУВАННЯ НЕЧІТКОГО АДАПТИВНОГО РЕГУЛЯТОРА КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗРІДЖЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ .....	187
--	-----

**Ю.П. ЗАСПА**

НЕЛІНІЙНА КОНТАКТНА ДИНАМІКА ТА АНТИСИМЕТРИЯ КОРПУСКУЛЯРНО-ВИХОР-ХВИЛЬОВИХ ФОРМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ТА ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛІВ У ФОНОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ КОМПЛЕКСНОГО ЕВКЛІДОВОГО ПРОСТОРУ. СПЕКТРИ ХІТОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ..... 193

**В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л.В.КАРПОВА, А.І. ПОВХ**

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ РІЗНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗАБУДОВИ МІСТА ..... 206

**А.Е. RUBANENKO, О.О. RUBANENKO, І.А. HUNKO, V.V. GASYCH**

DETERMINATION OF RESIDUAL RESOURCE OF MEASURING CURRENT TRANSFORMERS USING FUZZY SIMULATION ..... 214

**О.О. РУБАНЕНКО, І.О. ГУНЬКО, В.В. ГАСИЧ, Д.О. ГРЕСЬКОВ, В.А. ПРЯДКО**

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ НЕГАРАНТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ..... 220

**ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ, ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ****І.О. ЗАСОРНОВА, О.С. ЗАСОРНОВ, Г.А. РПКА**

РОЗРОБКА КЛАСИФІКАТОРУ ЗАСТОСУВАННЯ QR-КОДІВ В ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ ..... 226

**І.Т. СОЛТИК**

ПРИНЦИПИ ВИГОТОВЛЕННЯ ВКЛАДНИХ УСТІЛОК ІЗ ПІДПРОМ ДЛЯ УТЕПЛЕНОГО ВЗУТТЯ .. 234

**А.В. АНТОНЕНКО, Т.В. БРОВЕНКО, О.В. ВАСИЛЕНКО,**

**Ю.В. ЗЕМЛІНА, Г.А. ТОЛОК, І.М. ГРИЩЕНКО**  
ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ У ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНИХ ЗАКУСОК ..... 239

**О.О. КОРОТИЧ, В.С. НЕЙМАК, А.М. ЗАЛІЗЕЦЬКИЙ, Н.М. ЗАЩЕПКИНА**

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УДОСКОНАЛЕНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ ВІТРИНИ З АВТОМАТИЗОВАНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ ..... 245

**А.Л. СЛАВІНСЬКА, В.В. МИЦА**

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АСПЕКТ ГРУПУВАННЯ УНІФІКОВАНИХ ФОРМ РОБОЧОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА МОДЕЛЬ ВИРОБНИЧОГО ОДЯГУ ..... 254

**О.Г. СОКОЛОВСЬКА, Л.О. ВАЛЕВСЬКА**

ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА КІНОА – ВАЖЛИВИЙ ЕТАП ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ..... 259

**О.Л. ТКАЧУК**

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДВАРЮВАННЯ КОТОНІНОВМІСНОЇ ТКАНИНИ ..... 264

**В.Ю. ЩЕРБАНЬ, А.К. ПЕТКО, О.З. КОЛИСКО, Ю.Ю. ЩЕРБАНЬ, Л.Є. ГАЛАВСЬКА**

ПРОГРАМНІ МОДУЛІ ТА ПРОЦЕДУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ КЕВЛАРОВОЇ НИТКИ ПРИ В'ЯЗАННІ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ ..... 271

**МАШИНОБУДУВАННЯ, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО  
ТА ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ****Б.С. БРАЦЛАВЕЦЬ**

РОЗРОБКА МЕТОДУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗАГАРТОВАНИХ ГІЛЗ ЦИЛІНДРІВ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ ..... 275

---

<b>В.І. БРЕДУН</b> АНАЛІЗ РЕГІОНАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЯК ЕЛЕМЕНТУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ .....	278
--	-----

### МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

<b>О. В. ОСАДЧУК, Л. В. КРИЛИК, Я. О. ОСАДЧУК, О. С. ЗВЯГІН</b> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ .....	282
--	-----

<b>В. В. ЯЦЕНКО, К. Г. ГРИЦЕНКО, В. В. КОЙБІЧУК, А. В. ШТЕФАН</b> НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ АКТУАЛІЗАЦІЇ КІБЕРСПОРТИВНОЇ ІНДУСТРІЇ НА СВІТОВОМУ РІВНІ.....	289
---	-----

**МАШИНОБУДУВАННЯ, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТРАНСПОРТНІ  
ТЕХНОЛОГІЇ**

DOI 10.31891/2307-5732-2021-295-2-275-277

УДК 621.432.001.2

**Б.С. БРАЦЛАВЕЦЬ**

Вінницький національний аграрний університет

**РОЗРОБКА МЕТОДУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗАГАРТОВАНИХ  
ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ**

*Зношування циліндрів при терті в парі з поршневим кільцем відбувається в результаті багатьох одночасних процесів. Тому робоча поверхня гільз повинна мати високу твердість, що досягається поверхневим гарттом.*

*Ключові слова: трактор, гільзи, циліндри, контроль, якість, експлуатація, метал.*

B.S. BRATSLAVETS

Vinnytsia National Agrarian University

**DEVELOPMENT OF THE METHOD OF NON-DESTRUCTIVE QUALITY CONTROL OF HARDENED CYLINDER  
SLEEVE OF AUTOTRAKTOR EQUIPMENT**

*The main part of tractor engines is the cylinder liner, which depends on the life of the machine as a whole. It is made of gray cast iron (SCh20 DSTU 1412-85) with the addition of alloying elements and subjected to the working surface of HDTV hardening. Now quality control is carried out by destructive methods (assessment of hardness, durability, structure) on specially cut templates on 1 piece from a party to 80-100 pieces of each melting. Such control does not ensure the reliability of products, both in the quality of the base metal and heat treatment. The solution to this problem is possible by developing non-destructive quality control of each product in different periods of the process process with assessment of the properties and stress level of both the base metal (corresponding to the outer surface) and the hardened layer (inner working surface).*

*The intensity of cylinder wear depends on the conditions of friction of the cylinder-piston ring, which are affected by the design features of the engine (power, speed, compression ratio, cooling system, as well as fuel supply and combustion, air and oil purification system), quality of fuel and oil, operating conditions and wear resistance of the cylinder material. Wear of cylinders during friction paired with a piston ring during engine operation occurs as a result of a combination of many processes occurring simultaneously: destruction of microprojections of surfaces that are destroyed by repeated plastic deformation during engagement, as well as the destruction of tired origin; setting of the material of the microprojections with subsequent deep tearing of the metal particles during the destruction of the setting unit; accumulation of abrasive particles that contribute to the intensification of wear; abrasive action of dust particles, contribution products, solid inclusions on the surface of collapsing bodies; chemical corrosion under the influence of high temperatures of gaseous products of fuel combustion; electro-chemical corrosion from the action of acids formed during the dissolution of gaseous products in condensed water vapor on the walls of the cylinders.*

*Key words: tractor, liners, cylinder, control, quality, maintenance, metal.*

**Вступ**

Основною деталлю двигунів тракторів є гільза циліндрів, від якої залежить ресурс машини в цілому. Її виготовляють із сірого чавуну (СЧ20 ДСТУ 1412-85) з добавкою легуючих елементів і піддають робочу поверхню загартування ТВЧ. Зараз контроль якості здійснюється шляхом руйнівних методів (оцінка твердості, міцності, структури) на спеціально вирізаних темплетях по 1 шт. від партії до 80–100 штук кожної плавки. Такий контроль не забезпечує надійність продукції, що випускається, як за якістю основного металу, так і термообробки. Вирішення цієї проблеми можливим шляхом розробки неруйнівного контролю якості кожного виробу в різні періоди маршруту технологічного процесу з оцінкою властивостей і рівня напруженого стану як основного металу (відповідає зовнішній поверхні), так і загартованого шару (внутрішня робоча поверхня).

Інтенсивність зносу циліндрів залежить від умов тертя пари циліндр – поршневе кільце, на які впливають конструктивні особливості двигуна (потужність, число обертів, ступінь стиснення, система охолодження, а також подачі та спалювання палива, система очищення повітря та олії), якість застосованого палива та олії, умови експлуатації та зносостійкість матеріалу циліндрів. Зношування циліндрів під час тертя в парі з поршневим кільцем під час роботи двигуна відбувається в результаті поєднання багатьох процесів, що одночасно протікають [1–5]: руйнування мікроставів поверхонь, що руйнуються за рахунок багаторазового пластичного деформування при зачепленні, а також руйнування втомленого походження; схоплення матеріалу мікроставів з подальшим глибинним виривом частинок металу при руйнуванні вузла схоплення; накопичення абразивних частинок, що сприяють інтенсифікації зносу; абразивної дії частинок пилу, продуктів внеску, твердих включень на поверхні тіл, що руйнуються; хімічної корозії під впливом високих температур газоподібних продуктів згоряння палива; електро-хімічної корозії від дії кислот, утворюються при розчиненні газоподібних продуктів у сконденсованих на стінках циліндрів парах води.

**Викладення основного матеріал**

Залежно від умов роботи двигуна один із зазначених процесів може бути превалюючим в



зношуванні циліндрів. У момент холодного пуску двигуна, коли на стінках циліндрів конденсуються кислоти, може переважати корозійне зношування. Після накопичення в олії продуктів внеску та пилу (особливо при несправних олійних і повітряних фільтрах) може переважати абразивне зношування.

Оцінити питомий час переважання кожного з процесів зношування в перебіг всієї експлуатації двигуна і тим більш оцінити частку зносу при цьому важко навіть для одного типу двигуна і для вихідних умов експлуатації. Саме цим пояснюється відмінність думок про переважаючий фактор у зносі циліндрів.

Як було показано вище, гільзи циліндрів працюють у важких умовах. На них діють як сили тертя, так і знакозмінні навантаження. Тому робоча поверхня гільз повинна мати високу твердість, що досягається поверхневою загартовуванням. Цей спосіб передбачає використання для їх виготовлення сірого чавуну (різного ступеня легування), а також термічну обробку зі зміцненням тільки поверхневих шарів, в результаті чого змінюється структура і підвищується твердість. Як правило, гільзи циліндрів виготовляють відцентровим методом лиття, що забезпечує формування однорідної структури та властивостей на робочій поверхні.

В даний час при термообробці гільз досить широко застосовують індукційний метод гарту струмами високої частоти (ТВЧ). Після відпрацювання режиму індукційний поверхневий загартовування забезпечується висока якість виробів і досить стабільні результати порівняно з іншими методами обробки. Вона сприяє підвищенню опору зношування і втомленому руйнуванню, знижує можливість деформацій, не викликає помітного окислення і обезвуглеводнення при обробці та експлуатації. Крім того, завдяки нагріву тільки поверхневих шарів зменшуються витрати енергії на обробку.

Головною відмінністю індукційного нагрівання від різних зовнішніх джерел тепла (в печах та інших нагрівальних пристроях) є виділення тепла безпосередньо в самому металі. При індукційному нагріванні реалізується можливість значної концентрації електричної енергії в невеликому обсязі металу, що дозволяє здійснювати нагрів з великою швидкістю.

Суть індукційного нагріву полягає в наступному. По провіднику (індуктору) проходить змінний електричний струм високої частоти. У цей час навколо індуктора утворюється змінне електромагнітне поле, силові лінії якого пронизують деталь, у поверхневі шари якої виникають вихорі струми (Фуко), що забезпечують нагрів за товщиною шару до високої температури. Критичні точки залізовуглецевих сплавів відповідають температурам, при яких протікають перетворення на умовах повільного нагріву та охолодження.

При виборі температури для швидкісного індукційного нагріву, порівняно з пічним, вносяться поправки, так як обмежений час нагрівання може виявитися недостатнім для завершення фазових перетворень. При індукційному нагріванні чавуну вище критичних точок у металевій основі розчиняється як зв'язаний, так і вільний вуглець у вигляді графіту і окремих включень цементиту. При підвищених температурах прискорюються дифузійні процеси, збільшується вміст вуглецю та легуючих елементів в аустеніті і вирівнюється його хімічний склад. Інтенсивність і ступінь насичення аустеніту залежать від кількості зв'язаного вуглецю (перліту) і графітових включень у вихідній структурі чавуна, температури і швидкості індукційного нагрівання [8]. При виготовленні та подальшій термообробці в гільзах можливо виникнення різного роду дефектів (тріщини, зміни в структурі, пов'язані з формуванням неоднорідних зон, а також занадто малих або великих значень глибини зміцненого шару та ін.).

Під час розробки неруйнівного контролю якості проводять статистичні дослідження 120 гільз циліндрів тракторних (70 шт.) і автомобільних (50 шт.) двигунів. При цьому аналізували здавальні характеристики, структуру, твердості, хімічний склад металу і зіставляли їх з показаннями коерцитивної сили ( $H_c$ ).

Оскільки замірювана область  $H_c$  відповідає розміру шупів приладу, то оцінку структури, властивостей виробляли по 10 зонах, що характеризують всю цю площу, а потім показники усереднювали. Встановили, що коерцитивна сила ( $H_c$ ) змінюється залежно від кристалізованих форм, розподілу та якості графіту, частки карбідної фази, кількості фериту і властивостей фаз матриці (перліт, тростит, мартенсит). Частка залишкового аустеніту мала. Аналізуються зв'язки: форма графіту – коерцитивна сила; кількість графіту – коерцитивна сила; частка фаз матриці – коерцитивна сила; мікротвердість фаз – коерцитивна сила. Крім того, досліджуючи зміни в загартованому шарі відносно основної матриці, а також вплив матриці на властивості і  $H_c$ .

Глибина проникнення імпульсів струму у виріб обмежена і дорівнює 3 мм, тому вимірювання виробляють з двох сторін гільзи (зовнішньої і внутрішньої), оскільки імпульси охоплюють як загартовану область, так і не термооброблену. Показано глибину загартованого шару змінюється. Тому при вимірах захоплюється і частина не термообробленого шару. Для з'ясування впливу гарту на показання коерцитивної сили аналізують шари: загартований + сирий порівняно з сирым.

Глибина зміцненого шару не однорідна, тому в завдання дослідження входила оцінка впливу і цього фактора на зміну величини коерцитивної сили.

Такий методичний підхід і аналіз перелічених зв'язків дозволили оцінити внесок структурного фактора, властивостей, глибини гарту, а також товщини стінки на зміну рівня  $H_c$ . Це лягло в основу розробки норм при оцінці якості загартованих гільз циліндрів.

Вимірювання коерцитивної сили показало розкид показань в межах від 13,7 до 16,2 А/см на поверхні, підданій загартовуванню ТВЧ і від 10,9 до 13 А/см на зовнішній – не обробленій.

Видно, що значення коерцитивної сили на термопідсиленій поверхні дещо вище, ніж на нетермопідсиленій. З цього випливає, що свідчення коерцитиметра безпосередньо залежать від твердості.

Статистичний аналіз коерцитивної сили і твердості дозволяє розділити гільзи на три вибірки:

- перша - коерцитивна сила має мінімальні значення (< 14,8 А/см), при цьому рівень твердості також знижується до рівня нижньої межі допустимих значень за вимогами ТУ;

- друга - значення твердості відповідають середнім значенням вимог ТУ (40-42HRC) і коерцитивній силі від 14,8 до 15,8 А/см;

- третя - значення коерцитивної сили і твердості максимальні, відповідаючи рівню ближче до верхньої межі (60HRC – твердість; > 15,8 і до 16,2 А/см – коерцитивна сила).

Детально розглянули ті вибірки, які мали відхилення по ТУ. Для цього за місцем заміру твердості зробили шліфи і оцінили структуру. На значення коерцитивної сили і твердості гільзи, не піддані термообробці, впливають різні фактори. Так, при зміні твердості можуть бути викликані ліквідацією вуглецю і, як наслідок, появою грубого первинного графіту. Також була виявлена підвищена пористість металу, що призвело до зниження твердості. Збільшення твердості у нетермооброблених гільз вище вимог ТУ (> 269НВ) визначається скупченнями нітридів і карбонітридів титану, які виділяються як у вигляді окремих включень, так і скупчень. У останньому випадку це призводить до появи значень твердості, рівних 277–295 НВ, що перевищує вимоги ТУ. Спостережуване пов'язане з ліквідаційними явищами і може бути віднесено до нерівномірного розподілу модифікатора при виробництві гільзи. Як у першому, так і в другому випадку коерцитиметр відреагував на свідчення твердості і виявив низькі і високі значення. Максимальне значення твердості загартованої поверхні при статистичній обробці не перевищує 53 HRC. Також приводять коливання твердості до зміни рівня коерцитивної сили. Збільшення глибини загартованого шару до 2,02 мм призводить до зменшення твердості на 15% та зменшення значень коерцитивної сили до 18%. У термооброблених гільз в місцях розташування буртів розкид значень коерцитивної сили перевищує 20%. Оцінка коерцитивної сили по центру гільзи показала, що вона однорідна і інтервал значень знаходиться в межах 13,7–16,2 А/см, що відповідає необхідній твердості по ТУ. Ці свідчення можуть бути прийняті в якості норм при оцінці якості (однорідності властивостей) гільзи, піддані термообробці.

#### Висновки

1. Виконання статистичного аналізу якості загартованих гільз циліндрів дозволяє оцінити рівень їх якості (твердість, структуру, дефекти) на відповідність вимогам технічних умов (ТУ).

2. На основі даних про якість і властивостях таких гільз встановлюються закономірності впливу різних факторів на наявність коерцитивної сили.

3. Зміна структури впливає на рівень твердості, а отже, і коерцитивної сили.

4. Показано, що відхилення у властивостях загартованих гільз циліндрів пов'язані зі структурою і дефектами робочої поверхні, а також маршрутом технології процесу їх виробництва.

5. Роботу доцільно продовжити у напрямку встановлення норм неруйнівного контролю при ремонті, відновленні, технічному обслуговуванні двигуна.

#### Література

1. Придвижкин В.А. Экспертиза промышленной безопасности технических устройств буровых установок : учебное пособие / В.А. Придвижкин, С.Г. Бабин, Ю.Р. Гарин ; под ред. А.И. Владимирова, В.Я. Кершенбаума. – М. : Национальный институт нефти и газа, 2005. – 80 с.

2. Коллакот Р. Диагностика поврежденных / Р. Коллакот ; пер. с англ. – М. : Мир, 1998. – 512 с.

3. Маслова В.А. Термография в диагностике и неразрушающем контроле / Маслова В.А., Storozhenko V.A. – Харьков : Компания СМІТ, 2004. – 160 с.

4. Вавилов В.П. Тепловизоры и их применение / Вавилов В.П., Климов А.Г. – М. : Интел универсал, 2002. – 88 с.

5. Лыков А.В. Теория теплопроводности / Лыков А.В. – М. : Высш. шк., 1967. – 599 с.

6. Storozhenko V.A. Подходы к созданию стандартных образцов для теплового неразрушающего контроля / В.А. Storozhenko, Н.Ф. Хорло, С.Н. Мешков, В.А. Маслова // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2005. – № 1. – С. 21–25.

#### References

1. Pridvizhkin V.A. Ekspertiza promyshlennoj bezopasnosti tehniceskikh ustrojstv burovyh ustanovok : uchebnoe posobie / V.A. Pridvizhkin, S.G. Babin, Yu.R. Garin ; pod red. A.I. Vladimirova, V.Ya. Kershenbauma. – M. : Nacionalnyj institut nefi i gaza, 2005. – 80 s.

2. Kollakot R. Diagnostika povrezhdenij / R. Kollakot ; per. s angl. – M. : Mir, 1998. – 512 s.

3. Maslova V.A. Termografiya v diagnostike i nerazrushayushem kontrole / Maslova V.A., Storozhenko V.A. – Harkov : Kompaniya SMIT, 2004. – 160 s.

4. Vavilov V.P. Teplovizory i ih primenenie / Vavilov V.P., Klimov A.G. – M. : Intel universal, 2002. – 88 s.

5. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti / Lykov A.V. – M. : Vyssh. shk., 1967. – 599 s.

6. Storozhenko V.A. Podhody k sozdaniyu standartnyh obrazcov dlya teplovogo nerazrushayushego kontrolya / V.A. Storozhenko, N.F. Horlo, S.N. Meshkov, V.A. Maslova // Tehnicheskaya diagnostika i nerazrushayushij kontrol. – 2005. – № 1. – S. 21–25.

Надійшла/Paper received : 12.04.2021 р. Надрукована/Printed : 02.06.2021 р.