

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

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

т	(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

КУЧЕРЕНКО Ю. С.

Вінницький національний аграрний університет

ORCID: 0000-0003-3406-9850

e-mail: fortyna1910@gmail.com

МАТВІЙЧУК В. А.

Вінницький національний аграрний університет

ORCID: 0000-0002-1032-3060

e-mail: vamatv50@gmail.com

ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СПОСОБИ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ ГАЗОТЕРМІЧНИМ НАПИЛЕННЯМ

У статті розглянуті способи нанесення покриттів газотермічним напиленням. Визначені сфери використання даних способів для відновлення поверхні зношених деталей та механізмів нанесенням спеціальних покриттів. Одним із широко застосовуваних способів у промисловості є спосіб напилення за допомогою плазми. Розглянута сутність процесів газотермічного нанесення покриттів, яка полягає в утворенні спрямованого потоку дисперсних частинок напилюваного матеріалу, що забезпечує перенесення їх на поверхню оброблюваного виробу і формування шару покриття. Проаналізовано способи газотермічного напилення, розглянута класифікація технологій газотермічного напилення за функціональним призначенням, енергетичною ознакою та за формою напилюваного матеріалу, які представлені на відповідних схемах у статті. Розглянуті фактори, що впливають на процес напилення при різних способах нанесення покриттів, визначені переваги та недоліки, а також особливості способів нанесення покриттів газотермічним напиленням.

Ключові слова: газотермічне, напилення, покриття, нанесення за допомогою плазми, порошкове, металізація, дрібнодисперсні частинки, пластифікована маса, пластичність, адгезійна здатність.

JULIYA KUCHERENKO, VIKTORIYA MATVIYCHUK
Vinnytsia National Agrarian University

BASIC TECHNOLOGIES AND METHODS OF APPLYING COATING IN GAS-THERMAL FILES

The statistic shows the methods of applying coatings to gas-thermal files. The designation of the spheres is based on these methods for the renewal of the surface of the worn parts and the mechanisms of the applied special coatings. One of the widely used methods in industrial production is the method of filing for additional plasmas. The essence of the processes of gas-thermal coating is considered, which consists in the formation of a directed flow of dispersed particles of sprayed material, which ensures their transfer to the surface of the workpiece and the formation of the coating layer. The methods of gas-thermal sawing were analyzed, the classification of technologies of gas-thermal sawing was analyzed according to their functional characteristics, the energetic sign was given to the form of the sawn material, which are presented on the exemplary diagrams in the statistic. The design of the spherical surface is filmed by the gas-thermal method, it is updated and changed the surface, which is used to clean abrasive wear in the drain, as well as to clean the surface of the corrosion, corrosion and cavitation. A theoretical analysis of the main methods of coating deposition has been carried out, which has become widespread in industry. This method eliminates such disadvantages as warping and deformation of the part. Therefore, this method is used to restore and harden surfaces operating under abrasive wear conditions, as well as to protect the surface from erosion, corrosion and cavitation, for example, to restore the blades of hydrogenerators and turbine generators, gas turbines. The factors influencing the spraying process in different methods of coating are considered, the advantages and disadvantages are identified, as well as the features of the methods of gas-thermal coating.

Keywords: gas thermal, filing, coating, applied behind additional plasmas, powder, metallization, other dispersed particles, plasticized mass, plasticity, adhesion.

Вступ

Газотермічним напиленням позначаються всі процеси нанесення покриттів з матеріалів, якими являються дріт, що не змінює свою структуру при високих температурах, прутки або порошок. Матеріали вводять у зону високої температури. Там вони розпоршуються або стисненим повітрям, або струменем газу. При процесі розпилення утворюються дрібнодисперсні частинки, які, рухаючись з великою швидкістю, потрапляють на заздалегідь підготовлену поверхню. Потім у процесі газотермічного напилення утворюється необхідний шар відновлення або зміцнення заданої поверхні.

Сутність процесів газотермічного нанесення покриттів полягає в утворенні направленої потоку дисперсних частинок напилюваного матеріалу, що забезпечує перенесення їх на поверхню оброблюваного виробу та формування шару покриття. Покриття створюється за рахунок адгезії, що виникає при зіткненні частинок на поверхні основи. Напилюванні частинки являються порошком, або можуть бути отримані розплавленням і газовим дробленням вихідного матеріалу – дроту, стрижнів, пластифікованої маси тощо. Для розгону частинок застосовують різні високотемпературні газові середовища. Нагрів напилюваного матеріалу проводять для підвищення пластичності та адгезійної здатності частинок.

Виклад основного матеріалу

Газотермічні покриття, як і наплавочні, наносять з метою захисту поверхні від зношування та високої температури, а також широко використовують для відновлення порушеної (в процесі виробництва або експлуатації) геометрії виробу.

Єдиної класифікації методів газотермічного напилення немає. Відповідно до стандарту ГОСТ 28076–89 газотермічні покриття діляться на класи за функціональним призначенням (рис. 1) та енергетичною ознакою (рис. 2), оскільки принципова відмінність технологій газотермічного напилення визначається видом джерела енергії.

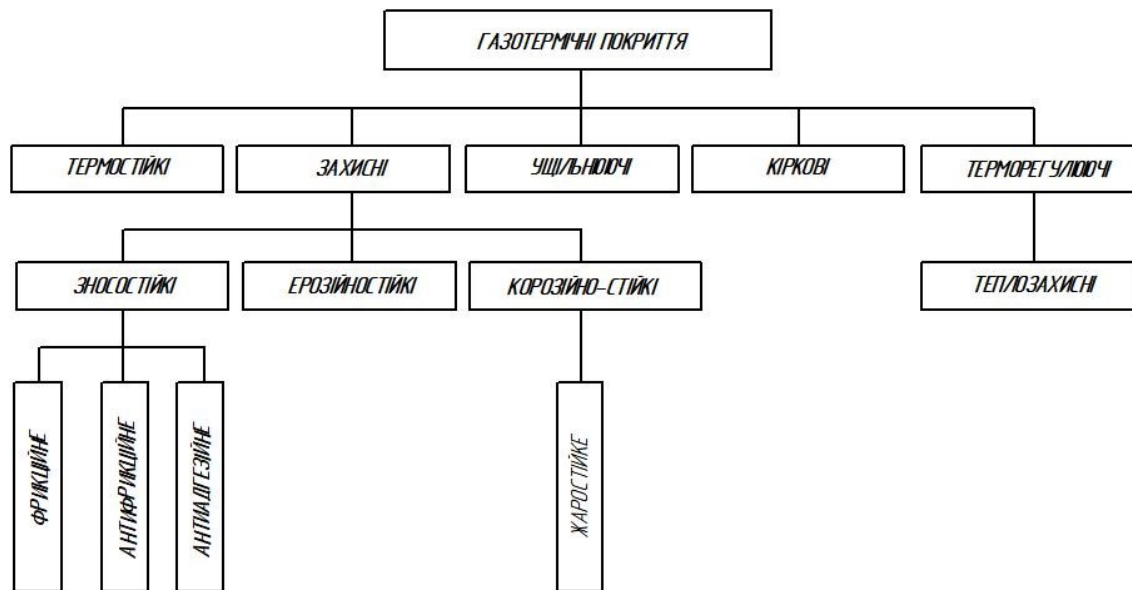


Рис. 1. Класифікація газотермічних покриттів за функціональним призначенням

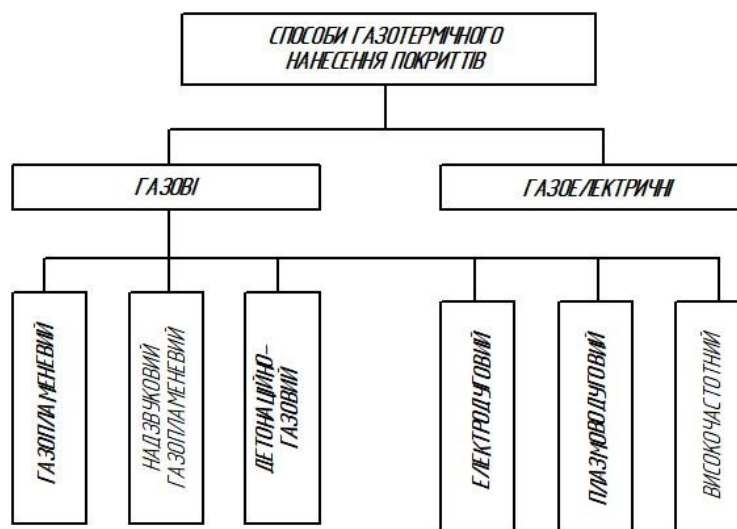


Рис. 2. Класифікація процесів газотермічного напилення покриттів за енергетичною ознакою

Більшість способів газотермічного напилення є універсальними, оскільки дозволяють наносити широкий спектр матеріалів. Матеріали для напилення можуть мати різну форму (порошки, дріт, стрижні). Тому класифікацію технологій газотермічного напилення представлено на рис. 3 можна доповнити характеристиками матеріалу для напилення [1].

Найбільш широкого розповсюдження в промисловості для нанесення покриттів застосовуються: процес металізації з дроту, плазмове напилення порошкоподібних матеріалів та порошкове газополум'яне напилення.

При плазмовому напиленні виходять якісні покриття. При такому способі можна використовувати такі тугоплавкі сполуки як нітриди, оксиди, карбіди.

Покриття, що наносяться бувають:

- корозійно-стійкими для роботи в агресивних рідинах і газах, при низьких, нормальних та високих температурах, у кислотах і лугах, у розчинах та розплавах солей і металів, в умовах додаткового ерозійного, фрикційного або абразивного зносу, з наявністю додаткової електрохімічної взаємодії або без;
- зносостійкі в умовах сухого тертя або зі змащенням, при малих і великих тисках та питомих навантаженнях, при низьких і високих швидкостях переміщення, при низьких і високих температурах тощо.
- електроізоляційними та електропровідними в найрізноманітніших умовах;
- фрикційними та антифрикційними при найрізноманітніших навантаженнях та умовах тертя;
- каталітичними та інгібіторними, розділовими, магнітними та магнітопрозорими [1].

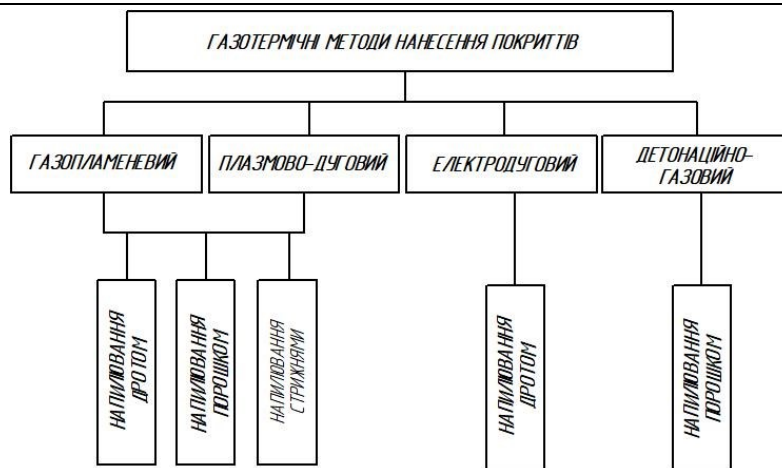


Рис. 3. Класифікація способів газотермічного напилення за формою напилюваного матеріалу

Газотермічне напилення відноситься до ресурсо- та енергозберігаючих технологій і все більше впроваджується в ремонтні цехи промисловості країни. Оскільки маса покриття, що наноситься, становить в основному лише частки відсотка від маси всієї відновленої деталі, при газотермічному напиленні витрати на механічну обробку знижуються. Це досягається тим, що шар наноситься мінімальними припусками під подальшу обробку.

При напиленні газотермічним способом виключені короблення та деформації деталі.

Раціональним є використання даного способу відновлення та зміцнення поверхонь, що працюють в умовах абразивного зносу, а також для захисту поверхні від ерозії, корозії та кавітації. Наприклад, відновлення лопатей гідрогенераторів та турбогенераторів, газових турбін.

Основними особливостями способів нанесення покриттів газотермічним напиленням є:

– велика кількість матеріалів і комбінацій матеріалів з температурою плавлення від 300 °С до 3500 °С на основу зі сталей, чавунів, кольорових металів. Товщина шару може змінюватись від 0,1 мм до 15 мм. Оптимальним вважається шар завтовшки 0,55–3,5 мм, це в свою чергу дає такі переваги:

- легке керування процесом отримання покриття;
- можливість коригування складу покриття та його властивостей (твердість, корозійна стійкість, зносостійкість) шляхом змішування різних матеріалів;
- відсутність термічних деформацій та структурних змін матеріалу оброблюваної деталі при напиленні через незначне нагрівання;
- нанесення покриття на деталі без обмеження їхньої ваги та габаритів;
- економне використання матеріалів та енергоресурсів;
- можливість заміни дорогих конструкційних матеріалів дешевшими за рахунок нанесення спеціальних покриттів [2].

Висновки

У статті проаналізовано способи нанесення покриттів газотермічним напиленням, розглянута сутність цього процесу. Проведено аналіз даного методу, визначені особливості способів нанесення покриттів на відновлювальні деталі. Розглянута класифікація технологій газотермічного напилення за функціональним призначенням, енергетичною ознакою та за формою напилюваного матеріалу.

Література

1. Лобанов М.Л., Кардонина Н.И., Россина Н.Г., Юровских Н.Г. Защитные покрытия. / Екатеринбург: Уральский университет, 2014. – 200 с.
2. Восстановление и упрочнение деталей – плазменное напыление и наплавка [Електронний ресурс] // ФЛАГМАН. Научно-производственное объединение.. – 2009. – Режим доступа: <http://www.flagman-npo.ru/tech/reconst/>
3. Напыление [Електронний ресурс] // ООО НПТ ТСП – Режим доступа: <http://www.npptsp.ru/spray1.html#3>.

References

1. Lobanov M.L., Kardonina N.I., Rossina N.G., Yurovskikh N.G. Zashchitnyye pokrytiya. / Yekaterinburg: Ural'skiy universitet, 2014. – 200 s.
2. Vosstanovleniye i uprochneniye detaley – plazmennoye napyleniye i naplavka [Yelektronniy resurs] // FLAGMAN. Nauchno-proizvodstvennoye ob"yedineniye.. – 2009. – Rezhim dostupu do resursu: <http://www.flagman-npo.ru/tech/reconst/>
3. Napyleniye [Yelektronniy resurs] // ООО NPP TSP – Rezhim dostupu do resursu: <http://www.npptsp.ru/spray1.html#3>.