

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

1.2023

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Том 1

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2023, Issue 1, Volume 317

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, 2023, № 1(317)

**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=aIUP9OYAAAAAJ
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.с.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., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Горошко А.В., д.т.н., Сарібекова 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., Бубулєс Альгімантас, доктор наук (Литва), Елсаєд Ахмед Ельнашар, доктор наук (Єгипет), Кальчиньскі 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 № 08 від 23.02.2023 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 visnyk.khnu@gmail.com		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, 2023
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2023

ЗМІСТ

ДУБАС ЮРІЙ, КУНАНЕЦЬ НАТАЛІЯ ВИКОРИСТАННЯ ОНТОЛОГІЇ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ДЛЯ ДОПОМОГИ У ФОРМУВАННІ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ОСВІТНЬОЇ ТРАЄКТОРІЇ СТУДЕНТІВ	9
БАБЕНКО ОЛЕКСІЙ, КУТІНА МАРИНА, ПРОЦЕНКО ЛЮДМИЛА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК НА ПІДПРИЄМСТВАХ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ	18
БОРТНИК ГЕННАДІЙ, БОРТНИК ОЛЕКСАНДР, КИРИЛЮК СЕРГІЙ СПЕКТРАЛЬНО-КОВАРІАЦІЙНИЙ МЕТОД КЛАСИФІКАЦІЇ РАДІОСИГНАЛІВ	21
ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ МИКОЛА, ВАРГАТЮК ГАННА, БОЛДИРЕВА ОЛЬГА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ РАДІОІНТЕРФЕЙС З ПІДТРИМКОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ 26	
ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ МИКОЛА, ПРИКМЕТА АНДРІЙ, ОЛІЙНИК АНДРІЙ, НІКІТОВИЧ ДІАНА ОПТИМІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	33
ВЕСЕЛОВСЬКА НАТАЛІЯ, БУРЛАКА СЕРГІЙ МЕТОДИ ТА ПРИЙОМУ КОМБІНУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КОМПЛЕКСНИХ ҐРУНТОБРОБНИХ МАШИН	42
ВЛАСЮК ВАЛЕНТИН ПОБУДОВА ПРОГНОЗОВАНИХ МОДЕЛЕЙ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТРАДИЦІЙНИХ ТА СКЛАДЕНИХ ЗГІДНО З КОНЦЕПЦІЄЮ SMART GRID СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ	48
ГОРБІЙЧУК МИХАЙЛО, КРОПИВНИЦЬКИЙ ДМИТРО ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПОГЛИБЛЕННЯ СВЕРДЛОВИНИ З ВРАХУВАННЯМ СТАНУ ОЗБРОСННЯ ДОЛОТА	58
ГУРМАН ІВАН, БОБРОВНИКОВА КІРА, БЕДРАТЮК ЛЕОНІД, БЕДРАТЮК ГАННА МЕТОД АНАЛІЗУ ПРОГРАМНОГО КОДУ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЯДРА CUDA	67
ДАНИЛКОВИЧ АНАТОЛІЙ, САНГІНОВА ОЛЬГА ЗАСТОСУВАННЯ ТАНИДІВ АКАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛАСТИЧНИХ ШКІР	74
ДАНИЛКОВИЧ АНАТОЛІЙ, ЛІЩУК ВІКТОР ФОРМУВАННЯ ВЗУТТЄВОЇ ШКІРИ ЗІ СПИЛКУ ШКУР СВИНЕЙ	82
ЗАЛЮБОВСЬКИЙ МАРК, ПАНАСЮК ІГОР, ЛИЧОВ ДМИТРО, КОШЕЛЬ ГАННА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ РЕЖИМІВ РУХУ РОБОЧОГО МАСИВУ В ГАЛТУВАЛЬНІЙ МАШИНІ З ДОДАТКОВОЮ РУХОМОЮ ЛАНКОЮ ПОВЗУНОМ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗМІНИ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ	87
ЗЕЛІНСЬКА ОКСАНА, ПОТАПОВА НАДІЯ, МЕЛЬЯНОВА АНАСТАСІЯ ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВЕДЕННЯ РЕЄСТРУ КЛІЄНТІВ БАНКУ	94
КОВАЛЬОВ ЮРІЙ, ПЛЕШКО СЕРГІЙ, СУВОРОВ ІВАН РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЕКСТРУДЕРА	100
КРАВЦОВ АНДРІЙ, ЛЕВКІН ДМИТРО, БЕРЕЖНА НАТАЛІЯ, ЛЕВКІН АРТУР МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ БІООБ'ЄКТОВИХ ЗАДАЧ	105
КРАВЧЕНКО СВІТЛАНА, МАРЧУК ГАЛИНА, ЛОКТИКОВА ТАМАРА, ГРИШКУН ЄВГЕНІЙ МЕТОДИ ЮЗАБЛІПІ-ТЕСТУВАННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ	111
КУЧЕРЕНКО ЮЛІЯ ОБґРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕРІАЛУ ПОКРИТТІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ	119

ЛЕМЕШКО АНДРІЙ, АНТОНЕНКО АРТЕМ, ЦВИК ОЛЕКСАНДР АНАЛІЗ І ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТРАФІКУ	123
МАМУТА МАРИНА, КРАВЧЕНКО ІГОР, МАМУТА ОЛЕКСАНДР ХОСТИНГ СТАТИЧНОГО ВЕБ-САЙТУ ЗАСОБАМИ AWS S3	128
МАРТИНЮК ТЕТЯНА, КОЖЕМ'ЯКО АНДРІЙ, БОРТНИК ГЕНАДІЙ, ВОЙНАЛОВИЧ ОЛЕКСАНДР АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ «ТРИВАЛІСТЬ-КОД»	135
МИХАЙЛОВА НІНА, ПРИВАЛА ВАЛЕРІЙ, ЛУЩЕВСЬКА ОЛЕНА ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР НА МАТЕРІАЛИ ІЗ ПОЛІМЕРНИМ ПОКРИТТЯМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В СТАТИЧНИХ УМОВАХ	139
ОЛІЙНИК ГАЛИНА, ДАНЧЕНКО ЮЛІЯ, КОРНИЦЬКА ЛАРИСА, РАСТОРГУЄВА МАРІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОДУКЦІЇ СЕРІЇ DEKODER DERUFA ДЛЯ ОЗДОБЛЕННЯ СТІНИ В СУЧАСНОМУ ІНТЕР'ЄРІ	145
ОНИЩУК ОКСАНА ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ФЛОКУЛЯЦІЇ ТА КОАГУЛЯЦІЇ ПРИ ОЧИЩЕННІ ВОДИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ	151
ПАЗДРІЙ ІГОР ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ ФРЕЙМВОРКІВ	155
ПЕДЯШ ВОЛОДИМИР МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ОТН З МОДУЛЯЦІЄЮ ПО ІНТЕНСИВНОСТІ	162
ПЕДЯШ ВОЛОДИМИР ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА	167
ПОТАПОВА НАДІЯ, ВОЛОНТИР ЛЮДМИЛА МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ В УПРАВЛІННІ ЗАПАСАМИ ІЄРАРХІЧНИХ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ	174
РИМАР ТЕТЯНА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ ПРОЦЕСУ ПОРИЗАЦІЇ РІДИННОСКЛЯНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ В УМОВАХ НВЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ	181
СИНЮК ОЛЕГ, КРАВЧУК ОЛЬГА, КРАВЧУК АНДРІЙ, МАГДІН ВІКТОР, ЗОЛОТЕНКО ІВАН МОДЕЛЬ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ	186
СЛАВІНСЬКА АЛЛА, СИРОТЕНКО ОКСАНА АНАЛІЗ СУЧАСНОГО НАСТИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ, ЩО ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ У ШВЕЙНІЙ ГАЛУЗІ	196
СОКІЛ МАРІЯ, ЗВОРСЬКИЙ АНДРІЙ СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОННІ ПОСЛУГИ БІБЛОТЕКИ ДЛЯ ПІДТРИМКИ НАВЧАЛЬНОГО ТА НАУКОВОГО ПРОЦЕСІВ ЗВО В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	205
СТРЕЛЬБЬЦЬКИЙ ВІКТОР ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ «ГАНЦ»	209
ЧИГІНЬ ВАСИЛЬ, ПАЗІНІЮК МИХАЙЛО, ТЕРЕНДІЙ ОЛЬГА, МЕНЬШИКОВ ОЛЕКСІЙ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ВІДДАЛЕНОГО ПРИСТРОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ PYTHON-СЕРВЕРА FLASK	214
ЩЕРБАНЬ ВОЛОДИМИР, КОЛЬВА МИКИТА, ЄГОРОВ ДМИТРО, КОЛИСКО ОКСАНА, ЩЕРБАНЬ ЮРІЙ РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ КІНЕМАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ ВАЖЛИВИХ МЕХАНІЗМІВ МАШИН ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ПРОГРАМИ ДЛЯ ОЦІНКИ НАПРУЖЕНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	220
КОЗУБ ЮРІЙ, КОЗУБ ГАЛИНА ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ МУЛЬТИПЛАТФОРМНИХ ЗАСТОСУНКІВ НА KOTLIN	224

РУТКЕВИЧ ВОЛОДИМИР, ДІДИК АНДРІЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ СУШННЯ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА В ШКАРАЛУПІ	230
ОСАДЧУК ЯРОСЛАВ МІКРОЕЛЕКТРОННІ АВТОГЕНЕРАТОРНІ СЕНСОРИ ТЕМПЕРАТУРИ	237
СИНЬКО АННА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ ДОКУМЕНТАЦІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІРТУАЛЬНИХ СПІЛЬНОТ	248
ДАВИДЕНКО ЛЮДМИЛА, ДАВИДЕНКО ВОЛОДИМИР АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В НИЗЬКОВОЛЬТНІЙ РОЗПОДІЛЬЧІЙ МЕРЕЖІ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	253
ПРАВОРСЬКА НАТАЛІЯ ЗРУЧНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ БІЗНЕСУ З МОЖЛИВІСТЮ АДАПТАЦІЇ ДО РИНКОВИХ ВИМОГ	257
ГОЛЕНКО КОСТЯНТИН, МАКОВКІН ОЛЕГ, ПОСОНСЬКИЙ СЕРГІЙ ФОРМУВАННЯ КРАЙОВИХ УМОВ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КУЗОВІВ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ	263
КРИВЕНЧУК ЮРІЙ, ОЛЕСКЕВИЧ СОФІЯ ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ СТОМАТОЛОГІЧНОЇ КЛІНІКИ З МОЖЛИВІСТЮ ВИЯВЛЕННЯ КАРІЄСУ НА ПАНОРАМНИХ ЗНІМКАХ ЗУБІВ	271
КРИВЕНЧУК ЮРІЙ, ГОРІШНА НАДІЯ АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАРПЛАТ ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	276
ЗАСОРНОВА ІРИНА, ЗАСОРНОВ ОЛЕКСАНДР, МАЗНЄВ ЄВГЕН, САРАНА ОЛЕКСАНДР АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ВІДКРИТОЇ ПАРАМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ «ВАЛЕНТИНА»	280
МИХАЙЛОВА НІНА, ПРИВАЛА ВАЛЕРІЙ, ЛУЩЕВСЬКА ОЛЕНА ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР НА МАТЕРІАЛИ ІЗ ПОЛІМЕРНИМ ПОКРИТТЯМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В СТАТИЧНИХ УМОВАХ	289
МОКІЄНКО АНДРІЙ, СПАСЬОНОВА ЛАРИСА, БОНДАРЧУК ОЛЕКСАНДР АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ У ПИТНІЙ ВОДІ ДІОКСИДУ ХЛОРУ, ХЛОРИТ- І ХЛОРАТ-АНІОНІВ	294
ЛИСЕНКО СЕРГІЙ, АТАМАНЮК ОЛЬГА, БОХОНЬКО ОЛЕКСАНДР, ВОРОБІЙОВ ВОЛОДИМИР ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ КІБЕРЗАГРОЗ ТИПУ RANSOMWARE НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ HONEYPOT	300

CONTENT

DUBAS YURI, KUNANETS NATALIYA USE OF ONTOLOGY IN INFORMATION SYSTEM TO ASSIST IN THE FORMATION OF AN INDIVIDUAL EDUCATIONAL TRAJECTORY OF STUDENTS	9
BABENKO OLEKSIY, KUTINA MARYNA, PROTSENKO LYUDMILA STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF BIOGAS INSTALLATIONS AT ENTERPRISES OF THE AGRICULTURAL COMPLEX	18
BORTNYK GENNADIY, BORTNYK OLEXAND, KYRYLYUK SERGIY SPECTRAL-COVARIATION METHOD OF CLASSIFICATION OF RADIO SIGNALS	21
VASYLKIVSKYI MIKOLA, VARGATYUK GANNA, BOLDYREVA OLGA INTELLIGENT RADIO INTERFACE WITH THE SUPPORT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE	26
VASYLKIVSKYI MIKOLA, PRYKMETA ANDRII, OLIYNYK ANDRII, NIKITOVYCH DIANA OPTIMIZATION OF INTELLIGENT TELECOMMUNICATION NETWORKS	33
VESELOVSKA NATALIYA, BURLAKA SERHIY METHODS AND TECHNIQUES COMBINATION WORKING BODIES OF COMPLEX SOIL PROCESSING MACHINES	42
VLASYUK VALENTYN BUILDING PREDICTIVE ELECTRICITY CONSUMPTION MODELS FOR TRADITIONAL AND SMART GRID POWER SUPPLY SCHEMES FOR IRON ORE MINES	48
GORBIYCHUK MYKHAIL, KROPYVNYTSKYI DMYTRO OPTIMAL CONTROL OF THE WELL DEEPENING PROCESS CONSIDERING THE CONDITION OF THE BITTING EQUIPMENT	58
HURMAN IVAN, BOBROVNIKOVA KIRA, BEDRATYUK LEONID, BEDRATYUK HANNA APPROACH FOR CODE ANALYSIS TO ESTIMATE POWER CONSUMPTION OF CUDA CORE	67
DANYLKOYVYCH ANATOLIY, SANGINOVA OLGA APPLICATION OF ACACIA TANNINS IN ELASTIC LEATHER MATERIALS PRODUCTION TECHNOLOGY	74
DANYLKOYVYCH ANATOLII, LISHCHUK VIKTOR FORMATION OF SHOE LEATHER FROM SPLIT PIG HIDES	82
ZALYUBOVSKYI MARK, PANASYUK IGOR, LYCHOV DMITRO, KOSHEL GANNA RESEARCH OF THE CHANGE OF THE MOTION MODES OF THE WORKING ARRAY IN A TURNING MACHINE WITH AN ADDITIONAL MOVEABLE SLIDING LINK DEPENDING ON THE CHANGE OF DESIGN FEATURES	87
ZELINSKA OKSANA, POTAPOVA NADIYA, YEMELIANOVA ANASTASIIA INFORMATION SYSTEM FOR MAINTAINING THE REGISTER OF CLIENTS OF THE BANK	94
KOVALYOV YURI, PLESHKO SERGEY, SUVOROV IVAN DEVELOPMENT OF IMPROVED ROBOTICS EXTRUDER LOADING SYSTEM	100
KRAVTSOV ANDRII, LEVKIN DMYTRO, BEREZHNA NATALIYA, LEVKIN ARTUR METHODOLOGICAL APPROACH TO THE MATHEMATICAL MODELS CONSTRUCTION OF BIOOBJECT PROBLEMS	105
KRAVCHENKO SVITLANA, MARCHUK GALINA, LOKTIKOVA TAMARA, GRISHKUN YEVGENII USABILITY TESTING METHODS FOR ASSESSING A MOBILE APPLICATION	111
KUCHERENKO JYLIA SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF COATING MATERIAL WHEN RESTORING PARTS OF AGRICULTURAL MACHINERY BY COLD GAS-DYNAMIC SPRAYING	119

ANTONENKO ANDRII, LEMESHKO ARTEM, TSVIK OLEKSANDR ANALYSIS AND FEATURES OF TRAFFIC MONITORING SOFTWARE	123
MAMUTA MARYNA, KRAVCHENKO IGOR, MAMUTA OLEKSANDR AMAZON S3 STATIC WEBSITE HOSTING	128
MARTYNIUK TATIANA, KOZHEMIAKO ANDRYI, BORTNYK GENNADIY, VOINALOVYCH OLEKSANDR ANALYSIS OF FEATURES OF ANALOG-TO-DIGITAL CONVERSION "DURATION-CODE"	135
MIHAILOVA NINA, PRIVALA VALERII, LUSHCHEVSKA OLENA STUDY OF THE INFLUENCE OF LOW TEMPERATURES ON MATERIALS WITH A SPECIAL PURPOSE POLYMER COATING UNDER STATIC CONDITIONS	139
OLIJNYK HALINA, DANCHENKO YULIYA, KORNYTSKA LARYSA, RASTORHUIEVA MARIIA STUDY OF THE RANGE AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE DERUFA DECODER SERIES FOR WALL DECORATION IN A MODERN INTERIOR	145
ONYSHCHUK OKSANA TO THE STUDY OF THE FLOCCULATION AND COAGULATION PROCESS IN THE PURIFICATION OF WATER FOR INDUSTRIAL APPLICATION	151
PAZDRIY IHOR COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE DEVELOPMENT SYSTEMS BASED ON FRAMEWORKS	155
PEDYASH VOLODYMYR MATHEMATICAL MODELING OF FIBER-OPTIC TRANSMISSION SYSTEM WITH INTENSITY MODULATION	162
PEDYASH VOLODYMYR INVESTIGATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF OPTICAL FIBER	167
POTAPOVA NADIIA, VOLONTYR LUDMILA MODELING METHOD IN STOCK MANAGEMENT HIERARCHICAL LOGISTICS SYSTEMS	174
RYMAR TATYANA RESEARCH OF THE TECHNOLOGICAL MODE OF THE PROCESS OF PORIZATION OF LIQUID GLASS COMPOSITE MATERIALS FOR THERMAL INSULATION IN THE CONDITIONS OF UHF RADIATION	181
SYNYUK OLEG, KRAVCHUK OLGA, KRAVCHUK ANDRII, MAGDIN VICTOR, ZOLOTENKO IVAN MODEL OF PLASTIC DEFORMATION OF POLYMER MATERIAL	186
SLAVINSKA ALLA, SYROTENKO OKSANA ANALYSIS OF MODERN SPREADING EQUIPMENT APPLIED IN THE SEWING INDUSTRY	196
SOKIL MARIIA, ZVORSKYI ANDRII MODERN ELECTRONIC SERVICES OF THE LIBRARY TO SUPPORT EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC	205
STRELBITSKIY VICTOR EVALUATION OF THE RELIABILITY OF «GANZ» PORTAL CRANE MECHANISMS	209
CHYHIN VASYL, PAZYNIUK MYKHAILO, TEREHDII OLHA, MENSNIKOV OLEKSII CONTROLLING THE OPERATION OF THE REMOTE DEVICE USING FLASK PYTHON SERVER	214
SHCHERBAN VOLODYMYR, KOLVA NIKITA, EGOROV DMITRIJ, KOLISKO OKSANA, SHCHERBAN YURYJ DEVELOPMENT OF A COMPUTER MODULE FOR KINEMATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF IMPORTANT MECHANISMS OF LIGHT INDUSTRIAL MACHINES, PROGRAMS FOR ASSESSING THE TENSION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES	220
KOZUB YURII, KOZUB HALYNA FEATURES OF MULTIPLATFORM APPLICATION DEVELOPMENT ON KOTLIN	224

RUTKEVYCH VOLODYMYR, DIDYK ANDRII OVERVIEW OF METHODS AND TOOLS FOR DRYING WALNUTS IN THE SHELL	230
OSADCHUK IAROSLAV MICROELECTRONIC AUTOGENERATOR TEMPERATURE SENSORS	237
SYNKO ANNA RESEARCH OF STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MEAT AS AN OBJECT OF PROCESSING IN MEAT COMMINUTOR	248
DAVYDENKO LIUDMYLA, DAVYDENKO VOLODYMYR ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC TRANSIENTS IN THE LOW-VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE	253
PRAVORSKA NATALYA CONVENIENT SOFTWARE FOR BUSINESS WITH THE POSSIBILITY OF ADAPTATION TO MARKET REQUIREMENTS	257
HOLENKO KOSTYANTYN, MAKOVKIN OLEG, POSONSKYI SERGII BOUNDARY CONDITIONS FORMATION OF THE STRESS-STRAIN STATE ANALYSIS OF CITY BUS BODIES	263
KRYVENCHUK YURI, OLESKEVYCH SOFIIA CREATION OF CARIES DETECTION SYSTEM	271
KRYVENCHUK YURI, HORISHNA NADIIA CREATION OF SALARY PREDICTION SYSTEM	276
ZASORNOVA IRYNA, ZASORNOV ALEXANDER, MAZNEV IEVGEN, SARANA OLEKSANDR ANALYTICAL REVIEW OF INFORMATION FOR TESTING THE OPEN PARAMETRIC SYSTEM OF AUTOMATED PROJECTION «VALENTINA»	280
MIHAILOVA NINA, PRIVALA VALERII, LUSHCHEVSKA OLENA STUDY OF THE INFLUENCE OF LOW TEMPERATURES ON MATERIALS WITH A SPECIAL PURPOSE POLYMER COATING UNDER STATIC CONDITIONS	289
MOKIIENKO ANDRII, SPASONOVA LARYSA, BONDARCHUK OLEKSANDR ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINATION OF CHLORINE DIOXIDE, CHLORITE AND CHLORATE ANIONS IN DRINKING WATER	294
LYSENKO SERGII, ATAMANIUK OLGA, BOKHONKO OLEKSANDR, VOROBIYOV VOLODYMYR METHOD FOR DETECTION OF RANSOMWARE CYBER THREATS BASED ON HONEYPOT: STATE-OF-ART	300

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-317-1-119-122>

УДК 621.3.035.183

КУЧЕРЕНКО Юлія

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3406-9850>

e-mail: fortyna1910@gmail.com

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕРІАЛУ ПОКРИТТІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ

На основі методу холодного газодинамічного напилення створюються технології для вирішення завдань енерго- та ресурсозбереження в різних галузях промисловості та вводяться в практику нетрадиційні і ефективні способи виробництва, ремонту, відновлення, антикорозійного захисту, отримання електро- та теплопровідних, антифрикційних та інших покриттів функціональних вузлів, а також елементів найрізноманітнішої техніки і обладнання.

У цій роботі проведено аналіз різноманітних матеріалів покриттів, що використовуються при відновленні деталей методом холодного газодинамічного напилення. Визначені сильні та слабкі сторони різних технологій нанесення покриттів, а також наведені рекомендації щодо вибору матеріалу при відновленні деталей методом холодного газодинамічного напилення.

Ключові слова: технології покриттів, захист від корозії, холодне газодинамічне напилення, адгезійна міцність, дефекти.

KUCHERENKO Yulia

Vinnitsia National Agrarian University

SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF COATING MATERIAL WHEN RESTORING PARTS OF AGRICULTURAL MACHINERY BY COLD GAS-DYNAMIC SPRAYING

Based on the method of cold gas-dynamic spraying, technologies are being created to solve problems of energy and resource saving in various industries and non-traditional and effective methods of production, repair, restoration, anti-corrosion protection, obtaining electrical and heat-conductive, anti-friction and other coatings of functional units, and as well as elements of a wide variety of machinery and equipment.

The main feature of cold gas-dynamic spraying is the absence of high temperatures during the formation of metal coatings, therefore, the absence of oxidation of particle and base materials, non-equilibrium crystallization processes, and high internal stresses in the workpieces. Coatings created in this way are a metal matrix with ceramic particles embedded in it. They are characterized by high strength, good performance properties and can be applied in any thickness. One of the important characteristics of coatings is the adhesion strength. Before spraying on any part, it is necessary to find out which coating material will give the best strength characteristics between the two materials. Therefore, before spraying, it is important to study the specifics of the formation of a durable coating for a given part, as well as to compare the strength characteristics of the cold gas-dynamic spraying method with other methods for restoring parts. In this paper, an analysis of various coating materials used in the restoration of parts by the method of cold gas-dynamic spraying is carried out. The strengths and weaknesses of various coating technologies are determined, as well as recommendations for choosing a material when restoring parts by cold gas-dynamic spraying.

Key words: coating technologies, corrosion protection, cold gas-dynamic spraying, adhesive strength, spraying, defects.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Холодне газодинамічне напилення (ХГДН) – метод порошкового нанесення покриттів, в якому частинки з характерним розміром 10–150 мкм прискорюються в надзвуковому потоці газу до швидкостей 400–1200 м/с і при ударі об підкладку закріплюються на ній без фазових переходів.

На основі методу холодного газодинамічного напилення створюються технології для вирішення завдань енерго- та ресурсозбереження в різних галузях промисловості та вводяться в практику нетрадиційні і ефективні способи виробництва, ремонту, відновлення, антикорозійного захисту, отримання електро- та теплопровідних, антифрикційних та інших покриттів функціональних вузлів, а також елементів найрізноманітнішої техніки і обладнання.

Однією з важливих характеристик покриттів є адгезійна міцність зчеплення. Перед напиленням на якусь деталь, необхідно з'ясувати, яке покриття надасть найкращі показники міцності між двома матеріалами. Тому перед напиленням важливо вивчити специфіку формування міцного покриття для заданої деталі, а так само порівняти характеристики міцності методу ХГДН з іншими методами відновлення деталей [1].

Виклад основного матеріалу

На сьогоднішній день при ремонті автомобільної техніки, застосовуючи технологію ХГДН, можна усувати дефекти наступних деталей:

- відновлення поверхні кузова (на стиках, за наявності дефектів, вм'ятин);
- антикорозійна обробка зварних швів, локальних зон кузова (цинкування) та зварних швів, локальних ділянок вихлопного тракту (алюмінівання);
- усунення дефектів у блоці циліндрів, усунення дефектів у головці блоку циліндрів (ГБЦ) (прогари, корозійні проміїни), реставрація свічкового різьблення в ГБЦ;

- реставрація посадкових місць підшипників;
- усунення дефектів в алюмінієвих, чавунних, сталевих деталях двигуна, їх герметизація (мікротечі, невеликі тріщини та інші дефекти в ГБЦ, блоці циліндрів, коробці перемикачів передачі тощо);
- усунення дефектів в елементах системи автокондиціонування (витік фреону);
- усунення прогарів, промоїн на бронзових поршнях [2].

Всі вище представлені види деталей, виготовлені з різних матеріалів, і при їх відновленні методом ХГДН необхідно враховувати даний фактор, так як адгезійна міцність безпосередньо впливає на довговічність покриття і ефективність відновлення того чи іншого вузла, або агрегату.

Як порошкові матеріали використовуються порошки металів, сплавів або їх механічні суміші з керамічними добавками. Порошкових матеріалів що застосовуються дуже багато, вони можуть бути як з легкоплавких металів (Al, Cu, Ni, Zn, V, Co, Fe), так і з тугоплавких (Ti, Mo, W). Тому перед напиленням необхідно визначити який порошок або їх суміш (у відсотковому співвідношенні) вибрати для напилення тієї чи іншої деталі, виготовленої з певного матеріалу і з певними властивостями.

Зацікавленість до технології ХГДН за останні роки значно зросла, про що свідчить велика кількість публікацій. Є дослідження адгезійної та когезійної міцності зчеплення різних матеріалів, а також порівняння характеристик міцності методу ХГДН з іншими методами відновлення деталей [3].

Для кількісної оцінки властивостей міцності використовувалися відомі методи: клейовий і штифтовий за ДСТУ 2639-94. При цьому зразки не зазнавали спеціальної поверхневої підготовки. В якості клею застосовувалася епоксидна смола та плівковий клей ВК-7. Діаметр напилених зразків складав 6–10 мм. Відрив зразка склеєного з шайбою, здійснювався за допомогою розривного пристрою, виготовленого на основі важільних ваг, і дозволяє вимірювати навантаження, які прикладаються, в діапазоні 0–300 кг з точністю 0,01 кг.

Характерні значення адгезійної та когезійної міцності зчеплення наведені в таблиці 1, де так само вказані характеристики міцності деяких покриттів, отриманих іншими методами напилення.

Таблиця 1

Значення адгезійної та когезійної міцності зчеплення покриття з основою

Матеріал		Метод напилення	Метод випробування	Міцність зчеплення, МПа
Покриття	Основа			
Al	Mg+6Al+12Zn	Плазмовий	Штифтовий	44
Al ₂ O ₃	Al сплав	Детонаційний	Штифтовий	20-25
Al ₂ O ₃	Ст. низьковугл.	Плазмовий	Клейовий	10
Al	Al	Ел. дуговий	Клейовий	9
Al	Ст. вугл.	Ел. дуговий	Клейовий	19
Al	Ст. вугл.	Газопламеневий	Клейовий	10
Al	Cu	ХГДН, $k_d < 1$	Клейовий	62-67
Al	ЛС-59	ХГДН, $k_d < 1$	Клейовий	64-65
Al	X18H9T	ХГДН, $k_d < 1$	Клейовий	62-65
Al	Cu	ХГДН, $k_d < 1$	Штифтовий	30-40
Al	Ст.35	ХГДН, $k_d < 1$	Штифтовий	20-30
Al	40X	ХГДН, $k_d < 1$	Штифтовий	38-40
Al	Д16Т	ХГДН, $k_d < 1$	Штифтовий	50-55
Al	ЛС-59	ХГДН, $k_d < 1$	Штифтовий	38-66
Cu	Cu	$k_d \sim 1$, гел.+пов	Штифтовий	40-45
V	Cu	$k_d \sim 1$, гел.+пов	Штифтовий	20
Zn	Cu	$k_d \sim 1$, гел.+пов	Штифтовий	12-15
Al	Cu	$k_d \sim 1$, гел.+пов	Штифтовий	10-20
V	Ст.35	$k_d \sim 1$, підігр. пов.	Штифтовий	25
Ni	Ст.35	$k_d \sim 1$, підігр. пов.	Штифтовий	35
Zn	Ст.35	$k_d \sim 1$, підігр. пов.	Штифтовий	15
X18H10T	ЛС-59	$k_d \sim 1$, підігр. пов.	Штифтовий	50-51
X18H10T	40X	$k_d \sim 1$, підігр. пов.	Штифтовий	22

З таблиці видно, що характеристики покриттів нанесених методом ХГДН досить високі, і величина зчеплення покриттів з основами становить $\sigma_{br} = 10-66$ МПа, що практично не поступається значенням для покриттів, напилених газотермічними методами. Слід зазначити, що при випробуваннях штифтовим методом вищі значення отримані для основ з менш твердих матеріалів (латунь ЛЗ-59, дюраль Д16Т, мідь). Подібна залежність пов'язана, мабуть, з більш значною глибиною проникнення частинок у основу (~ 10 мкм) та більш розвиненою контактною поверхнею для цих матеріалів, ніж для зразків зі сталей, що підтверджується даними мікроскопічних спостережень.

Встановлено, що алюмінієві покриття, отримані в режимі $k_d < 1$ (k_d – коефіцієнт напилення), істотно перевищують міцність зчеплення з основою покриття, отримані при $k_d \sim 1$, що також пояснюється, мабуть, ефектом ударного пресування.

Таким чином, дані клейових, штифтових випробувань показують, що когезійна міцність алюмінієвих покриттів, отриманих при $k_d < 1$, можна порівняти з міцністю компактного алюмінію, в той час як адгезійна міцність істотно залежить від матеріалу основи і може бути як нижчою когезійної (на основах з твердих матеріалів, наприклад, сталей), і вищою (на основах із пластичних матеріалів). Покриття з різних матеріалів, напилені при $k_d \sim 1$, володіють меншими властивостями міцності і порівняні з властивостями покриттів, одержуваних газотермічними методами.

Одним із важливих факторів при напиленні є коефіцієнт напилення. Коефіцієнт напилення – це відсоток частинок порошку, що закріпилися на поверхні, від загальної маси витраченої сировини. При напиленні чистого матеріалу (без змішування різних порошків) коефіцієнт напилення дуже малий (0,01-0,1%), що спричиняє перевитрату порошку та низьку якість покриття, без використання керамічних частинок у складі. Наявність керамічних частинок в напилюваному порошковому матеріалі є важливою особливістю технології формування покриттів так, як тверді керамічні частинки сприяють:

- очищенню поверхні від забруднень і створення більш придатного до напилення мікрорельєфу поверхні основи, а це суттєво збільшує міцність зчеплення покриття з нею;
- зменшенню пористості та збільшенню когезії (міцності зчеплення частинок один з одним) завдяки деформації поверхні із-за ударів металевих частинок;
- зрізання з поверхні покриття металевих частинок, які слабо закріпилися, що покращує якість покриття.

Як керамічні частинки зазвичай використовують частинки з оксиду алюмінію (корунду), які є хімічно абсолютно інертними. Тому наявність або відсутність таких частинок не погіршуватиме корозійну стійкість покриття [4].

Якщо намагатися наносити покриття тільки з порошку металу, без корунду, то коефіцієнт напилення впаде до неприйнятних значень, а міцність зчеплення з основою може зменшитися в 2-3 рази, а порошок міді зазвичай або взагалі не закріплюватиметься на поверхні, або не створюватиме товстих покриттів.

Дані досліджень щодо залишкового вмісту компонентів у покритті дозволяють вибрати склад вихідного порошку, необхідний для отримання заданого вмісту компонентів у покритті. Наприклад, максимальний залишковий вміст міді в покритті (95% міді в покритті) може бути отриманий при додаванні у вихідний порошок 30-40% алюмінію від загальної ваги. При такій вихідній концентрації алюмінію коефіцієнт напилення міді становитиме $\approx 0,5\%$, що все-таки помітно вище, ніж коефіцієнт напилення чистої міді (0,01%). Якщо, наприклад, потрібно отримати залишковий вміст міді $\approx 50\%$ у покритті, необхідно додати у вихідний порошок $\approx 60\%$ алюмінію від загальної ваги. У цьому випадку коефіцієнт напилення міді помітно зростає і буде $\approx 15\%$ ($k_d = 0,15$). Відсоток вмісту корунду зазвичай становить у суміші від 1 до 20% (від загальної ваги). При вмісті керамічних частинок більше 20% порошку, коефіцієнт напилення різко прямує до нуля [5].

З цього дослідження можна дійти невтішного висновку, що у процесі напилення компоненти суміші впливають один на одного. Імовірно, механізм взаємодії компонентів полягає в тому, що вони з різною ймовірністю закріплюються на поверхні, яка складається з різних матеріалів (тобто ймовірність закріплення мідних частинок на поверхні з алюмінієвих частинок вища, ніж ймовірність закріплення мідних частинок на поверхні зі сталі або самих мідних частинок).

Також більший вплив на адгезійну міцність мають технологічні режими встановлення холодного газодинамічного напилення, такі як нагрівання повітряного потоку, витрата порошкового матеріалу та робочий тиск повітря.

Найбільш якісне утворення покриттів відбувається за наступних технологічних режимів установки ХГДН:

- робочий тиск 0,5-0,7 МПа;
- енергетичний режим 2,3 та 4 (200, 300 та 400 СО відповідно);
- витрати порошку 0,2-0,4 г/с.

Таким чином, перед відновленням деталі методом ХГДН дуже важливо визначити склад покриття, який наноситься на деталь виготовлену з будь-якого матеріалу, а так само встановити технологічні режими установки ХГДН при яких, покриття, що наноситься, матиме найкращі показники адгезійної міцності.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У статті проведено аналіз сучасних технологій відновлення деталей, визначені сильні та слабкі сторони різних технологій покриттів. Як результат, приведені рекомендації що до вибору матеріалу при відновленні деталей методом холодного газодинамічного напилення. Враховуючи ці аспекти, вибір залишається за споживачем, які технології відновлення підходять до конкретних потреб, виходячи з перерахованих основних видів і характеристик нанесення захисно-декоративних покриттів.

Література

1. Кучеренко Ю.С., Матвійчук В.А. Основні технології та способи нанесення покриттів газотермічним напиленням. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2021. № 6 (303). С. 240–242.
2. Гайдамак О.Л., Матвійчук В.А., Кучеренко Ю.С. Перспективи створення полімерних функціональних покриттів із застосуванням газодинамічного напилення. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2020. № 2 (109). С. 105–112.
3. Марьянко В. П. Газопламенное напыление полимерных порошковых красок. Промышленная окраска. 2014. № 1. С. 24–28.
4. Гайдамак О.Л. Дослідження властивостей покриттів на основі алюмінію, створених холодним газодинамічним напиленням. Вісник машинобудування та транспорту. 2015. № 1. С. 14–20.
5. Газотермічні покриття. Оборудование и технологии малого бизнеса. 2014. URL: <https://proizvodim.com/gazotermichni-pokrittya.html>.

References

1. Kucherenko YU.S., Matviychuk V.A. Osnovni tekhnolohiyi ta sposoby nanesennya pokryttiv hazotermichnym napylennyam. Herald of Khmelnytskyi National University. 2021. № 6 (303). S. 240-242.
2. Haydamak O.L., Matviychuk V.A., Kucherenko YU.S. Perspektyvy stvorennya polimerykh funktsional'nykh pokryttiv iz zastosuvanniam hazodynamichnoho napylennya. Tekhnika, enerhetyka, transport APK. 2020. № 2 (109). S. 105-112.
3. Mar'yanko V. P. Hazoplamennoe napylenie polimerykh poroshkovykh krasok. Promyshlennaya okraska. 2014. №1. С. 24–28.
4. Haydamak O.L. Doslidzhennya vlastyvostry pokryttiv na osnovi alyuminiyu, stvorenykh kholodnym hazodynamichnym napylennyam. Visnyk mashynobuduvannya ta transportu. 2015. № 1. S. 14-20.
5. Hazotermichni pokryttya. Oborudovanie y tekhnologii malogo biznesa. 2014. URL: <https://proizvodim.com/gazotermichni-pokrittya.html>.