

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

1.2024

---

# ВІСНИК

**Хмельницького  
національного  
університету**

**Технічні науки**

---

**Technical sciences**

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2024, Issue 1, Volume 331

Хмельницький

# Редакційний штат

## Головний редактор

### Микола СКИБА

д. т. н., професор, голова Вченої ради Хмельницького національного університету, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, Україна

Профіль Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204934613>

## Заступник головного редактора

### Олег СИНЮК

д. т. н., професор, проректор з наукової роботи Хмельницького національного університету, професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем, м. Хмельницький, Україна.

Профіль Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57196153541>

## Відповідальний секретар

### Сергій ГОРЯЩЕНКО

#### Горященко С. Л.

к.т.н., доцент, доцент кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем, заслужений винахідник України, керівник Лабораторії енергозберігаючих технологій Хмельницького національного університету, м. Хмельницький, Україна.

Профіль Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55855469200>

## Члени редколегії серії «Технічні науки»

ISSN 2307-5732

ISSN (online)

**Журнал включено до наукометричних баз:**

[Google Scholar](#)

[CrossRef](#)

[Index Copernicus](#)

[Журнал розміщено на сайті НБУ ім. В.І. Вернадського](#)

**Видавництво:** Хмельницький національний університет (Україна)

**Періодичність:** 6 разів на рік

**Галузь знань:** технічні

**Мови рукопису:** змішаними мовами: українська, англійська

**Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ:** Серія KB № 24922-14862ПР (12.07.2021).

**Умови ліцензії:** автори зберігають авторські права та надають журналу право першої публікації разом з твором, який одночасно ліцензується за ліцензією Creative Commons Attribution International CC-BY, що дозволяє іншим ділитися роботою з підтвердженням авторства роботи та первинної публікації в цьому журналі.

**Заява про відкритий доступ:** видання «**Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки**» забезпечує негайний відкритий доступ до свого змісту за принципом, що надання вільного доступу до досліджень для громадськості підтримує більший глобальний обмін знаннями. Повнотекстовий доступ до наукових статей журналу представлений на офіційному веб-сайті в розділі Архіви.

**Адреса:** Науковий журнал «**Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки**», Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016, Україна.

**Тел .:** +380984772799

**Електронна адреса:** [visnyk.khnu@khmnu.edu.ua](mailto:visnyk.khnu@khmnu.edu.ua)

**Веб-сайт:** <https://heraldes.khmnu.edu.ua>

## ЗМІСТ

### ФОТОННА ІНТЕГРАЛЬНА СХЕМА ТА ЇЇ КАЛІБРУВАННЯ

Ірина Авдейонок, Володимир Боровицький ..... 11-17

### МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ WORM-ВІРУСІВ ЗГІДНО БАГАТОКЛАСОВОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ

Богдан Савенко ..... 18-28

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СХЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ІНТЕРВАЛЬНИХ ДИСКРЕТНИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ

Микола Дивак , Олександр Кіндзерський ..... 29-37

### КОНЦЕПЦІЯ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПОЛІМОРФНИХ ВІРУСІВ

Павло Регіда , Олександр Бармак, Антоніна Каштальян, Едуард Манзюк 38-43

### ШЛЯХИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ МАШИН АПК

Віктор Анісімов , Ірина Гунько , Сергій Бурлака ..... 44-47

### ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПАРОЛІВ У ВЕБ-СИСТЕМАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ВДОСКОНАЛЕНИХ СХЕМ ХЕШУВАННЯ

Руслан Багрій , Олександр Бармак, Едуард Манзюк ..... 48-51

### СУЧАСНІ МЕТОДИ ПОСІВУ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Ігор Бабин, Олена Труханська, Сергій Бурлака ..... 52-56

### ПЕРЕДУМОВИ СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО ВИРОБНИЦТВА ОДЯГУ В УКРАЇНІ

Людмила Буханцова, Оксана Захаркевич, Лариса Краснюк, Олена Луцевська 57-60

### ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІБРАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ВУЗЛІВ ТА АГРЕГАТИВ АГРАРНОЇ ТЕХНІКИ

Анатолій Войцицький, Інна Нездвецька ..... 61-64

### ТЕХНОЛОГІЯ ПРОФІЛАКТИКИ ОНІХОМІКОЗІВ

Роман Качан ..... 65-68

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ  
СКЛАДНИХ СИСТЕМ ПІД ДІЄЮ ДЖЕРЕЛ ТЕРМІЧНОГО  
НАВАНТАЖЕННЯ

Дмитро Левкін ..... 69-72

ВИЗНАЧЕННЯ ВАГИ ВИЧАВЛЕНОЇ ОЛІЇ ШНЕКОВИМ ПРЕСОМ З  
ВИКОРИСТАННЯМ ТЕНЗОМЕТРИЧНОГО ДАТЧИКА, МОДУЛЯ HX711  
ТА ARDUINO

Володимир Гавран ..... 73-76

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ДРОБОВОГО ФАКТОРНОГО  
ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА  
ЧУТЛИВІСТЬ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ ДВОШАРОВОЇ  
СТРУКТУРИ

Людмила Крилик ..... 77-82

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ОПРОМІНЕННЯ НА  
ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИННОЇ  
ПРОДУКЦІЇ В ГІДРОПОННІЙ УСТАНОВЦІ

Ігор Купчук , Олександр Мельник ..... 83-88

ТЕХНІЧНА ПЕРЕВАГА БІСТРУМОВОЇ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ  
ГЕНЕРАЦІЇ

Олег Кімстач, Микола Чумак ..... 89-96

ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ  
МЕРЕЖ У ВІЙСЬКОВИХ ЦІЛЯХ

Дмитро Михалевський, Тетяна Шаповалова, Владислав Сухотеплий, Олексій  
Луценко 97-100

АЛГОРИТМ ВИЯВЛЕННЯ АБ'ЮЗИВНОГО ВМІСТУ В  
УКРАЇНОМОВНОМУ АУДІОКОНТЕНТІ ДЛЯ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ В  
ОБ'ЄКТНО-ОРІЄТОВАНУ ІНФОРМАЦІЙНУ СИСТЕМУ

Марина Молчанова, Олександр Мазурець, Олена Собко, Роман Віт,  
В'ячеслав Назаров ..... 101-106

НЕЧІТКЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ  
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ГОЛОВНОГО  
ВОДОВІДЛИВНОГО КОМПЛЕКСУ ЗАЛІЗОРУДНОЇ ШАХТИ

Олексій Михайленко, Владислав Барановський, Вадим Щокін, Владислав Федотов, Петро Поліщук ..... 107-115

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗБАГАЧЕНОГО БЕЗДРІЖДЖОВОГО ХЛІБА З  
РІЗНИХ ВИДІВ БОРОШНА

Марія Рацук, Тетяна Юрова, Юлія Сарібекова, Ольга Чихун ..... 116-120

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТЕМПЕРАТУРИ  
НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ СТРУКТУРИ СИЛОВИХ  
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ В УМОВАХ ЇХ РОБОТИ В  
КОМУТАЦІЙНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ АПАРАТАХ

Наталія Сабалаєва, Валерій Ілларіонов, Сергій Іносов,  
Володимир Павленко ..... 121-127

ВИНИКНЕННЯ І РОЗВИТОК ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В ГІРСЬКИХ  
ПОРОДАХ ПРИ СТАТИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Андрій Соловей ..... 128-133

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ ЗЕРНА В МЕТАЛЕВИХ СИЛОСАХ ПРИ  
ТРИВАЛОМУ ЗБЕРІГАННІ

Олена Соколовська, Людмила Валевська ..... 134-139

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ  
ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ БОБОВИХ  
ТРАВ

Ігор Твердохліб, Віталій Яропуд, Олена Солона, Юрій Полевода  
Ігор Бабин ..... 140-144

КОМП'ЮТЕРНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ПОДАЧІ НИТОК З  
ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ  
АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
НАВАНТАЖЕНЬ

Володимир Щербань, Олексій Воляник, Оксана Колиско, Геннадій Мельник,  
Юрій Щербань ..... 145-148

АРХІТЕКТУРА ОЗЕРА ДАНИХ, ДЛЯ ГАЛУЗІ ОСВІТИ

Андрій Пришляк ..... 149-157

ПРИКЛАДНА ЛІНГВІСТИКА АБСТРАКЦІЇ У ВИКЛАДАННІ МЕХАНІКИ  
ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБНИЦТВ

Елсаїд А. Елнашар, Вікторія Білик, Сергій Горященко, Махмуд І. А. Таха,  
Зейнаб Е. Елнашар, Ібрахем Мохамед ..... 158-172

МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСІВ У БІОГАЗОВИХ  
УСТАНОВКАХ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ІНТЕРВАЛЬНИХ ДАНИХ

Микола Дивак, Вадим Забчук ..... 180-190

ДО ПИТАННЯ РОЗБУДОВИ ІНФРАСТРУКТУРИ АВІАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ В  
ЕНЕРГЕТИЧНОМУ АСПЕКТІ

Сергій Бойко, Олексій Котов, Юлія Кривих, Святослав Вишневський,  
Станіслав Гвоздік ..... 191-195

ВИКОРИСТАННЯ МАТНСАД І LABVIEW ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ  
АЛГОРИТМІВ ВИЯВЛЕННЯ, ЛОКАЛІЗАЦІЇ ТА ВІДСТЕЖЕННЯ  
РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ У ВІДЕОПОТОКАХ

Володимир Красиленко, Василь Кичак, Олександр Нікольський, Олександр  
Лазарєв, Діана Нікітович ..... 196-204

ПОБУДОВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ПРАВИЛ З  
ФУНКЦІЯМИ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОБЛЕМ БУРІННЯ  
НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

Володимир Процюк ..... 173-179



КРЕМНІЄВИЙ ФОТОДІОД ДЛЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ (FSO) З ПІДВИЩЕНОЮ ШВИДКОДІЄЮ ТА ЧУТЛИВІСТЮ НА ДОВЖИНІ ХВИЛІ 980 нм

Юрій Добровольський, Володимир Ліпка ..... 205-214

ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АВІАЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ

Сергій Бойко, Святослав Вишневський, Дмитро Шокар'юв, Петро Поліщук, Станіслав Гвоздік ..... 215-221

КІНЕМАТИЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЯК ЗАСІБ УТОЧНЕННЯ КООРДИНАТ ВОРОЖИХ БПЛА

Іван Афтаназів, Лілія Шевчук, Леся Струтинська, Оріся Строган ..... 222-232

ОСОБЛИВОСТІ АНІЗОТРОПНОГО БІПОЛЯРНОГО ТЕРМОЕЛЕМЕНТА

Анатолій Ащеулов, Микола Дерев'янчук, Маргарита Рождественська ..... 233-238

ДВОКАНАЛЬНИЙ БАЛІСТИЧНИЙ ТРАНСФОРМАТОРНИЙ ГРАВІМЕТР

Олена Безвесільна, Сергій Нечай, Тетяна Толочко, Марія Гриневич ..... 239-243

АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ НА ОСНОВІ ПРИВАТНИХ ДАНИХ

Микола Онай, Андрій Северін ..... 244-247

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ PNN ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ В УМОВАХ АНАЛІЗУ МАЛИХ ДАНИХ ВИСОКОЇ РОЗМІРНОСТІ

Мирослав Гаврилук, Назарій Говдиш ..... 248-251

ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ І СТРУКТУР ДАНИХ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАФІКУ

Валерій Льовкін ..... 252-258

МЕТОД ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ГЕНЕРУВАННЯ ТЕКСТУ ЗА РАХУНОК ПОВТОРНОГО ПЕРЕДАВАННЯ ЗГЕНЕРОВАНОГО ТЕКСТУ НА МОДЕЛЬ Петро Здебський, Андрій Берко .....	259-263
РОЗРОБЛЕННЯ ВИСІВНОЇ СИСТЕМИ ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВНУТРІШНЬО-ГРУНТОВОГО ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ З ОДНОЧАСНОЮ СІВБОЮ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР Володимир Руткевич, Валерій Остапенко .....	264-270
ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ УСПІШНОСТІ МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ Володимир Стаценко, Владислав Пилипенко .....	271-276
ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ ХІМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РІДИННОГО ОЗДОБЛЕННЯ ШКІРИ Антоніна Заєць, Ольга Андреєва .....	277-280
АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ І РОЗРАХУНКИ АЕРОДИНАМІЧНОГО ЗАХОВЛЮВАЧА ДЕТАЛЕЙ КРОЮ З ТЕКСТИЛЮ ЗІ СТОСУ МАНІПУЛЯТОРІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ ШВЕЙНИХ МАШИН Михайло Місяць, Броніслав Орловський .....	281-290
АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОСТУПОМ Володимир Корчинський, Ірина Тарасенко, Сергій Рациборинський, Олександр Акаєв. Ртем Хаджиогло .....	291-296
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ ПОЛІГРАФІЧНІ СИСТЕМИ: АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ Микола Зенкін, Василь Кохановський, Андрій Іванко .....	297-304
ВИКОРИСТАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО ГАРТУВАННЯ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЯ Ольга Дробот, Анатолій Нестер, Світлана Підгайчук .....	305-311
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ БАЗ ДАНИХ ВІД НЕСАНКЦІОНОВАНОЇ МОДИФІКАЦІЇ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ БЛОКЧЕЙН ТА АЛГОРИТМУ КОНСЕНСУСУ PROOF-OF-WORK Ольга Салієва, Анатолій Грицак, Віталій Білоус, Тарас Іванюк .....	312-318

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЯМОКОПАЧА ДЛЯ САДІННЯ САДЖАНЦІВ ПЛОДОВИХ ДЕРЕВ	
Володимир Руткевич, Сергій Ріпа .....	319-324
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІЖБЛОЧНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ	
Олег Буковський, Сергій Вислоух .....	325-329
СУЧАСНІ РІШЕННЯ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА	
Олександр Холодюк, Володимир Диня, Олександр Бонякевич, Дмитро Мовчан .....	330-338
ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ РУКАВІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИЛОЧНИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ У МОРСЬКИХ ПОРТАХ	
Віктор Стрельбіцький .....	339-342
ПРИДАТНІСТЬ СОЛОМИ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НА ВОЛОКНО	
Олег Фурса, Анастасія Архип, Валентина Євтушенко .....	343-346
ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНИХ ПРОСТОРОВИХ МЕХАНІЗМІВ ГАЛТУВАЛЬНИХ МАШИН	
Марк Залюбовський, Олексій Заїка, Олександр Кошель, Ганна Кошель	347-355
ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ҐРУНТІВ РЕКУЛЬТИВОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ПІСЛЯ ВИДОБУВАННЯ ІЛЬМЕНІТУ НА ЖИТОМИРСЬКОМУ ПОЛІССІ	
Ольга Шомко, Ірина Давидова .....	356-363
ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЛАЗЕРНОГО РІЗАННЯ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ МЕТОДОМ ТАГУЧІ	
Юлія Соколан, Назарій Клясний, Катерина Соколан .....	364-369
ОСОБЛИВОСТІ СТИСНЕННЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ВТРАТАМИ	
Михайло Зряхов, Сергій Кривенко, Vladimir Lukin .....	370-376

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ БАГАТОШАРОВИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	
Олег Нахайчук, Еліна Захарова, Валентина Горобчишина, Оксана Христюк .....	377-380
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРООПАЛЕННЯ ДЛЯ НАВЧАЛЬНИХ АУДИТОРІЙ УНІВЕРСИТЕТУ	
Андрій Яворський, Любомир Жовтуля, Віталій Цих, Ігор Рибіцький, Юлія Худицька .....	381-389
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ НЕЛІНІЙНОЇ МЕХАНІКИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗГИНАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ШНЕКА	
Петро Пукач, Віктор Пабірівський, Неля Пабірівська .....	390-394
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС МЕТОДІВ ПЕРЕРОБКИ АЛЮМІНІЮ	
Саїда Тагієва .....	395-399
ВИКОНАННЯ ГРАФІЧНИХ НАТЮРМОРТІВ ТУШШЮ ЯК ОСНОВА ОВОЛОДІННЯ МОВОЮ ГРАФІКИ	
Владислав Литвиненко, Галина Лобанова, Світлана Петрашук .....	400-408
ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНОЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ АЗОТУВАННЯМ В ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ: ОГЛЯД СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
Наталія Машовець, Антон Корінний, Тарас Банашко .....	409-414
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДВІЙНИХ ЗАМКНЕНЬ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖАХ 10 КВ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЮ	
Олександр Рубаненко, Олена Рубаненко, Богдан Пограничний .....	415-419
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕСЕРТНИХ СТРАВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	
Лариса Баль-Прилипко, Артем Антоненко, Галина Толок, Семен Толок, Артем Горкун.....	420-425
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ НАВЧАННЯ	
Катерина Полібіна .....	426-432

**АНИСІМОВ ВІКТОР**

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-3349-1630>e-mail: [anisimov@vsau.vin.ua](mailto:anisimov@vsau.vin.ua)**ГУНЬКО ІРИНА**

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2868-4056>e-mail: [rynagunko@vsau.vin.ua](mailto:rynagunko@vsau.vin.ua)**БУРЛАКА СЕРГІЙ**

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4079-4867>e-mail: [ipserhiy@gmail.com](mailto:ipserhiy@gmail.com)

## ШЛЯХИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ МАШИН АПК

*Автори статті розглядають проблеми споживання енергії під час ремонту машин АПК та пропонують шляхи їх вирішення через вдосконалення газотермічного напилення.*

*У роботі проаналізовано сучасні технології газотермічного напилення та визначено ключові аспекти, які впливають на енергоефективність цього процесу.*

*Ключові слова: напилення, поверхневий шар, частинка, нанесення, характеристики покриття, робоче середовище, швидкість*

ANISIMOV VIKTOR, HUNKO IRYNA, BURLAKA SIRHIY  
Vinnytsia National Agrarian University

## WAYS OF DEVELOPMENT OF GAS THERMAL SPRAYING METHODS FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN THE REPAIR OF AGRICULTURAL MACHINERY

*The authors of the article consider the problems of energy consumption during the repair of agricultural machinery and propose ways to solve them through the improvement of gas-thermal spraying.*

*The paper analyzes modern technologies of gas-thermal spraying and identifies key aspects that affect the energy efficiency of this process. In particular, the use of the latest materials, optimization of spraying parameters and introduction of automated control systems are considered.*

*The authors of the article consider in detail the advantages and disadvantages of existing methods of gas thermal spraying, highlighting problematic issues related to energy consumption and low productivity. On the basis of this analysis, specific ways of development and improvement of methods aimed at increasing the energy efficiency of gas-thermal spraying in the repair of agricultural machines are proposed.*

*In particular, the article considers the possibility of using the latest energy-saving technologies, the introduction of renewable energy sources and the optimization of equipment operation processes. The prospects for the application of intelligent management and monitoring systems, which will contribute to the optimal use of energy resources, are highlighted.*

*This article serves as an important contribution to the understanding of the problems of energy efficiency of gas-thermal spraying in the repair of agricultural machinery and determines directions for further research and the implementation of innovative approaches in the restoration of agricultural machinery.*

*Keywords: spraying, surface layer, particle, application, coating characteristics, working environment, speed*

### Постановка проблеми

У сучасних умовах відновлення сільськогосподарської техніки, газотермічне напилення визнано ефективним методом, однак виникає серйозна проблема енергоефективності цього процесу. Ремонт машин в сфері агропромислового комплексу (АПК) невіддільно пов'язаний зі споживанням значних енергетичних ресурсів, що призводить до підвищених витрат та впливає на економічну стійкість галузі.

Основною проблемою, яку необхідно вирішити, є неефективне використання енергії під час газотермічного напилення, що веде до великої кількості втрат та збільшення витрат на ремонтні роботи. Недоліки та обмеження існуючих методів газотермічного напилення призводять до низької продуктивності процесу та збільшення викидів в атмосферу.

Додатковою складністю є нестабільність цін на енергоресурси, що робить сільськогосподарські підприємства вразливими до коливань на ринку та погіршує їх фінансове положення. Таким чином, вирішення проблеми енергоефективності газотермічного напилення стає актуальним завданням для підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарського виробництва та забезпечення сталого розвитку АПК.

### Аналіз останніх джерел

Аналіз останніх досліджень у галузі газотермічного напилення для відновлення машин АПК можна розділити на декілька секцій. Перша секція зосереджена на вдосконаленні матеріалів і технологій, призначених для збільшення міцності та стійкості відновлених деталей. Особлива увага приділяється розробці технологій, які оптимізують процес напилення для досягнення оптимальних властивостей покриття.

Другий аспект стосується енергоефективності та сталості процесу газотермічного напилення. Дослідження спрямовані на зменшення енерговитрат під час цього процесу та підвищення його сталості.

Розглядаються нові методи управління енергією, оптимізація параметрів та використання відновлюваних джерел енергії.

Третя секція тексту розглядає автоматизацію та інтелектуальні системи в контексті газотермічного напилення. Використання автоматизованих систем управління та моніторингу покращує точність та ефективність процесу. Інтеграція штучного інтелекту допомагає удосконалити процеси та виявляти можливі аномалії.

Четверта частина зосереджується на стійкості до зносу та абразії. Останні дослідження направлені на розробку покриттів, які володіють високою стійкістю до зносу та абразії, що є ключовим для сільськогосподарської техніки, піддається великим фізичним навантаженням.

**Метою роботи є системний аналіз та огляд сучасних досліджень у галузі газотермічного напилення з метою виявлення і пропозиції нових шляхів розвитку методів, спрямованих на підвищення енергоефективності процесу відновлення сільськогосподарських машин.**

#### Виклад основного матеріалу

Газотермічні методи напилення покриттів почали активно розвиватися з кінця п'ятдесятих років двадцятого століття [1, 2]. На сьогоднішній день процес газотермічного напилення отримав розширення у різних варіаціях. Відповідно до ГОСТ 28076, залежно від джерела теплоти, газотермічне напилення класифікується на такі види: газополум'яне напилення, плазмове напилення, плазмове-дугове напилення, високочастотне плазмове напилення, детонаційне напилення, напилення в контрольованій атмосфері.

Основними недоліками традиційних методів газотермічного напилення є: порівняно низька адгезія між покриттям та основним матеріалом, наявність залишкової пористості, висока трудомісткість підготовки поверхні деталі до відновлення і інше. Зазвичай напилені шари не підвищують міцність виробу, а під час напилення виникають труднощі із нанесенням покриття на внутрішні поверхні деталей, такі як отвори для підшипників [1-4].

Рис. 1 демонструє схему розвитку та розташування в часовому діапазоні різних методів газотермічного напилення в залежності від швидкості на пилоподібній основі [2].

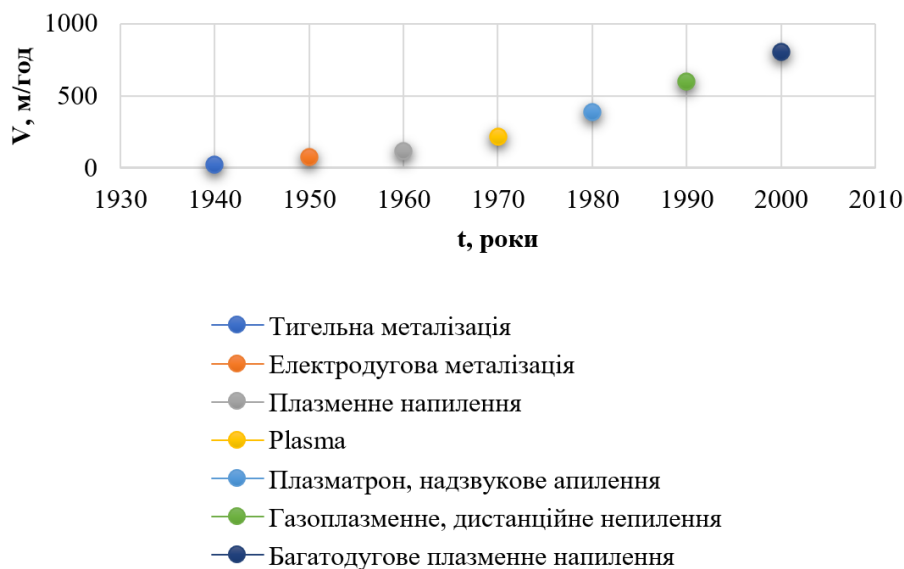


Рис. 1. Хронологічна залежність швидкості частинок порошку для деяких способів газотермічного напилення

Аналізуючи представлені дані, відзначається, що в останні роки спостерігається зростання інтересу та розвитку нових методів газотермічного напилення, таких як надзвукове газополум'яне напилення, надзвукове плазмове напилення та надзвукове газодинамічне напилення.

Способи отримання газотермічних покриттів із надзвуковою швидкістю частинок отримали у світовій практиці назву «High-Velocity-Oxygen-Fuel» (HVOF), що означає «Висока швидкість-Кисень-Паливо», та система «High-Velocity-Air-Fuel» (HVOAF), що означає «Висока швидкість-Кисень-Паливо».

Система «HVOAF» використовує стиснене повітря як окислювача та хлор у якості агента для охолодження під час згорання [5]. Покриття, отримані цими методами, вирізняються високою адгезією, низькою пористістю та можуть конкурувати з покриттями, отриманими методом детонаційного напилення.

Надзвукове газополум'яне напилення використовує надзвукові пістолети, такі як "Jet-Coat", "Top-Gun", "Top-Gun-K", "Carbide-Jet" та ін., для отримання покриттів [1]. Зазвичай, під час напилення використовують кисень (або стиснене повітря) та газ. Наприклад, для "газового напилювання" необхідно приблизно 21 л/год газу та 11 балонів/год кисню [1].

Навіть при високій якості отримуваних покриттів, цей метод застосовується обмежено. В Україні розроблено обладнання для надзвукового газополум'яного напилення, яке використовується для отримання зносо- та корозійностійких покриттів [7].

Надзвукове плазмове напилення поділяється на струминне та каналове. При струминному напиленні

порошок вводиться в надзвуковий потік, що призводить до різних змін швидкостей частинок при їхньому нанесенні на поверхню. Це може призводити до шарування структури покриття, від щільного до звичайного [8].

Значно кращі результати за щільністю та міцністю зчеплення з основою можна досягти при "каналовому" надзвуковому плазменному напиленні. У цьому випадку частинки порошку вводяться в потік перед виходом із сопла, рухаючись вздовж каналу, де вони нагріваються і потім виходять у струмінь. При цьому низька швидкість частинок порошку практично не враховується, і їхні швидкості польоту приймають значення, близькі до максимальних.

Також відомий метод багатодугового плазмового напилення, який має певні переваги з точки зору вигідності електроживлення плазмотронів.

Надзвуковий газодинамічний спосіб напилення (ГДН) був винайдений в 80-х роках ХХ століття та використовує ефект закріплення твердих частинок, що рухаються надзвуковою швидкістю, на поверхні при співударенні з нею.

У ГДН металічні частки, які перебувають у твердому стані, прискорюються потоком надзвукового газу до швидкості кілька сотень метрів в секунду і наносяться на поверхню деталі під час високошвидкісного удару. Зіштовхуючись з поверхнею, частинки кріпляться, утворюючи суцільне покриття. Цей процес відбувається за умови, коли температура частинок порошку зазвичай значно нижча за їхню температуру плавлення.

Якщо порошок, який наноситься, є сумішшю двох компонентів - пластичного металу (наприклад, алюмінію чи його сплаву) та порошку кераміки чи більш твердого металу (корунд А1203), процес відрізняється. Ітерація цих частинок з поверхнею деталі суттєво відрізняється. Внаслідок високошвидкісного удару частки кераміки не деформуються, або відскакують від поверхні, або вбираються в неї, створюючи міцне механічне зчеплення з основою. Благодаря бризговому впливу високошвидкісних частинок, ефективно відбувається процес формування надійного покриття. Шляхи розвитку методів газотермічного напилення зорієнтовані на покращення енергоефективності процесів ремонту машин АПК. Одним з підходів є вдосконалення "каналового" надзвукового плазменного напилення, де частинки порошку введені в потік перед виходом із сопла, що дозволяє досягти кращих результатів за щільністю та міцністю зчеплення з основою.

Крім того, розглядаються методи багатодугового плазмового напилення, які мають певні переваги з точки зору вигідності електроживлення плазмотронів.

Надзвуковий газодинамічний спосіб напилення (ГДН) є об'єктом досліджень для покращення енергоефективності. Цей метод використовує ефект закріплення твердих частинок, що рухаються надзвуковою швидкістю, для нанесення покриття на поверхню деталі при співударі з нею. Вдосконалення процесу ГДН може призвести до збільшення ефективності та якості напилення.

Загальний напрямок розвитку включає також вивчення впливу складу порошків, їхніх температурних характеристик та взаємодії з поверхнею основи на процес формування покриття. Це сприяє оптимізації енергоефективності та стійкості отриманих напилених шарів.

Таким чином, розвиток методів газотермічного напилення для ремонту машин АПК спрямований на підвищення енергоефективності, поліпшення якості покриттів та забезпечення стійкості процесів напилення.

### Висновки

У підсумку можна констатувати, що розвиток методів газотермічного напилення представляє значущий потенціал для покращення енергоефективності процесів ремонту машин АПК. Вдосконалення "каналового" надзвукового плазменного напилення, багатодугового плазмового напилення та надзвукового газодинамічного напилення є ключовими напрямками досліджень.

Оптимізація складу порошків, їхніх температурних характеристик та взаємодії з поверхнею деталі також відіграє важливу роль у покращенні ефективності та якості напилення. Застосування новітніх технологій, таких як "High-Velocity-Oxygen-Fuel" (HVOF) та "High-Velocity-Air-Fuel" (HVOF), дозволяє отримувати покриття з високою адгезією та низькою пористістю.

Дослідження впливу енергоефективних методів, автоматизації та застосування інтелектуальних систем на процес газотермічного напилення підкреслюють необхідність комплексного підходу до вдосконалення цих технологій. Важливим є також забезпечення екологічної стійкості процесів напилення для мінімізації негативного впливу на довкілля.

Основними викликами залишаються покращення адгезії покриття та основного матеріалу, зменшення залишкової пористості, ефективна підготовка поверхні до відновлення, а також дослідження можливостей для напилення внутрішніх поверхонь деталей.

### Література

1. Калетнік Г., Адамчук В., Булгаков В., Кравчук В. Про концепцію сучасного розвитку вітчизняної сільськогосподарської техніки. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2014. Вип. 18. С. 19–28.
2. Elgersma A., Soegaard K., Jensen S. K. Vitamin contents in forage herbs. Aspects of Applied Biology. 2012. Vol. 115. P. 75–80.

3. Xianzhe Z., Lan Y., Jianying W., Hangfei D. Process analysis for an alfalfa rotary dryer using an improved dimensional analysis method. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2009. Vol. 2 (3). P. 76–82. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2009.03.076-082
4. Gallego A., Hospido A., Moreira M. T., Feijoo G. Environmental assessment of dehydrated alfalfa production in Spain. *Resources, Conservation and Recycling*. 2011. Vol. 55 (11). P. 1005–1012. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.05.010
5. Бурлака С. А. Алгоритм функціонування машинно-тракторного агрегату з використанням системи живлення зі змішувачем палив. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2022. № 1 (305). С. 140–145.
6. Бурлака С. А., Явдик В. В., Єленич А. П. Методи досліджень та способи оцінки впливу палив з відновлюваних ресурсів на роботу дизельного двигуна. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. № 2 (271). С. 212–220.
7. Гунько І. В., Бурлака С. А. Математичне моделювання роботи системи живлення дизельного двигуна працюючого на біопаливі з дросельним регулювання складу паливної суміші. *The scientific heritage*. 2020. № 50. С. 34–39.

## References

1. Kaletnik G., Adamchuk V., Bulgakov V., Kravchuk V. About the concept of modern development of domestic agricultural machinery. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture in Ukraine. 2014. Issue 18. P. 19–28.
2. Elgersma A., Soegaard K., Jensen S.K. Vitamin contents in forage herbs. *Aspects of Applied Biology*. 2012. Vol. 115. P. 75–80.
3. Xianzhe Z., Lan Y., Jianying W., Hangfei D. Process analysis for an alfalfa rotary dryer using an improved dimensional analysis method. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2009. Vol. 2 (3). P. 76–82. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2009.03.076-082
4. Gallego A., Hospido A., Moreira M. T., Feijoo G. Environmental assessment of dehydrated alfalfa production in Spain. *Resources, Conservation and Recycling*. 2011. Vol. 55 (11). P. 1005–1012. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.05.010
5. Burlaka S. A. Algorithm of the operation of a machine-tractor unit using a power supply system with a fuel mixer. *Herald of Khmelnytskyi National University*. 2022. No. 1 (305). P. 140–145.
6. Burlaka S. A., Yavdyk V. V., Yelenich A. P. Research methods and ways of assessing the influence of fuels from renewable resources on the operation of a diesel engine. *Herald of Khmelnytskyi National University*. 2019. No. 2 (271). P. 212–220.
7. Gunko I. V., Burlaka S. A. Mathematical modeling of the power system operation of a diesel engine running on biofuel with throttle control of the fuel mixture composition. *The scientific heritage*. 2020. No. 50. P. 34–39.