

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 35 (74) № 4 2024



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

Головний редактор:

Кисельов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Члени редакційної колегії:

Медведєв Микола Георгійович (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Бронін Сергій Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Домніч Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дехтяр Анатолій Соломонович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри архітектурних конструкцій Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури;

Дичко Аліна Олегівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики Київського національного університету технологій та дизайну;

Єремєєв Ігор Семенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Огородник Станіслав Станіславович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Сегай Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

Цомко Олена – доктор філософії по спеціальності «Безпека і управління інформацією», відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 1 від 30.08.2024 року)**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано відповідно до Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1136 від 11.04.2024 року.

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») з технічних наук (спеціальності: 144. Теплоенергетика, 161. Хімічні технології та інженерія, 172. Телекомунікації та радіотехніка) відповідно до Наказу МОН України від 17.03.2020 № 409 (додаток 1), 121. Інженерія програмного забезпечення, 123. Комп'ютерна інженерія, 126. Інформаційні системи та технології, 151. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 275. Транспортні технології (за видами) відповідно до Наказу МОН України від 02.07.2020 № 886 (додаток 4)

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

ISSN 2663-5941 (Print)

ISSN 2663-595X (Online)

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2024

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО

Поліщук М.М., Ролік О.І.

ДРОН ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

ТРУБ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ.....1

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

Казимиренко Ю.О., Лебедєва Н.Ю., Довженко Д.В., Риженко М.С., Баюнов А.О.

ФОРМУВАННЯ КАРКАСНОЇ СТРУКТУРИ ПРЕСОВОК З ПОРОШКУ ТА СТРУЖКИ МІДІ.....8

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Гапонова О.П., Тарельник Н.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ MoS₂ -ПОКРИТТІВ,

ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ..... 13

ПРИЛАДИ

Романюк В.А., Стародубцев С.О.

ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ ОБШИВКИ

БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЛАЗЕРНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ... 22

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Кононова І.В., Некрутенко В.І.

МОДЕЛЬ ШЛЯХУ ІНФОРМАЦІЙНОГО НАПРЯМКУ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З РЕАЛЬНОЮ НАДІЙНІСТЮ ОБЛАДНАННЯ..... 27

Корчинський В.М.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ

РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ.....33

Manko O.O., Kharlai L.O., Kononov O.Yu., Nikiforenko K.B., Sotnichenko Yu.O., Vakas V.I.

INCREASING THE EFFICIENCY OF OPTICAL CRYPTOGRAPHY USING PASSIVE

OPTICAL ELEMENTS..... 38

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Behlov Ya.I., Tarakhtii O.S.

COMPARISON OF EXTREME PYROLYSIS PLANT CONTROL SYSTEMS.....45

Богза М.С., Волощук В.А.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У ЗАДАЧАХ МОДЕЛЮВАННЯ

ДИНАМІКИ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК.....52

Василенко В.М., Вакалюк Т.А.

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В УПРАВЛІННІ ПРОЄКТАМИ: АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ.....60

Вдовичин Т.Я., Білий Р.Т.

ЦИФРОВИЙ ІНСТРУМЕНТ GOOGLE SITES ДЛЯ СТВОРЕННЯ Е-ПОРТФОЛІО..... 68

Дроменко В.Б., Лісовець С.М.

ОСОБЛИВОСТІ ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИ РОЗРОБЛЕННІ СИСТЕМ

З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ..... 74

Заболотний О.В., Сіроклин В.П., Нікулін С.С.

РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ БОЙОВИХ

КВАДРОКОПТЕРІВ: ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ

У СУЧАСНІЙ ВІЙСЬКОВІЙ ТЕХНОЛОГІЇ..... 83

Зилевіч М.О., Заїченко В.Д. РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	91
Карпенко М.І., Чумаченко С.М., Мошенський А.О., Гуйда О.Г. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ ВИЯВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН.....	98
Кириченко О.Л., Кириченко О.О. ВИКОРИСТАННЯ AWS APPSYNC ДЛЯ КОМУНІКАЦІЇ ВЕБДОДАТКІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ.....	105
Кисіль А.Ю. МЕТОДОЛОГІЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ МАШИННОГО АНАЛІЗУ ГРАФІЧНИХ ДАНИХ ПРИ ВИКОНАННІ ВІЙСЬКОВИХ ЗАВДАНЬ.....	111
Кримська А.О. КЛЮЧОВА РОЛЬ ПОЛІГРАФОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СТРАТЕГІЯХ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ В ЕКОНОМІЧНИХ ГАЛУЗЯХ.....	118
Левківський В.Л., Марчук Д.К., Панаріна І.В., Кузьменко О.В. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПІДСИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗДОРОВ'Я.....	123
Лебеза В.П., Нецадим О.М. ДВОХФАКТОРНИЙ КРИТЕРІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ І ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЯ В ЗАДАЧІ ПРО БРАХІСТОХРОНУ НА ТРАНСЦЕНДЕНТНІЙ ПОВЕРХНІ.....	128
Лисенко О.І., Тачинина О.М., Фуртат С.О., Фуртат О.В., Галай О.Ф. МЕТОДИКА АЛГОРИТМІЧНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МЕХАТРОННИХ ПРИСТРОЇВ МАЛОЇ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ.....	135
Oleshchenko L.M., Burchak P.V. SOFTWARE SYSTEM ARCHITECTURE DEVELOPMENT FOR INTELLIGENT ANALYSIS OF WEB APPLICATION PERFORMANCE METRICS.....	141
Павленко В.Д., Ілуца А.С., Гідулян В.І. ПЛАТФОРМА ДЛЯ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ У НЕЙРОФІЗІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ НА ОСНОВІ ДАНИХ АЙТРЕКІНГУ.....	151
Пахомова В.М., Старіков Д.І. ПРОЕКТУВАННЯ БАЗИ ДАНИХ МЕДИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ, ЩО СКЛАДАЄ ОСНОВУ ІНФОРМАЦІЙНО-ПОШУКОВОЇ СИСТЕМИ.....	161
Петросян Р.В. АЛГОРИТМ ОБЧИСЛЕННЯ ЧАСТОТИ НАПРУГИ У ТРИФАЗНІЙ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ НА БАЗІ ЦИФРОВИХ ФІЛЬТРІВ.....	168
Пундик В.І. РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ В КОНТЕКСТІ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДОЛОГІЇ DEVOPS ТА ГНУЧКОЇ МОДЕЛІ РОЗРОБКИ.....	175
Регеда Ю.О., Регеда В.О. КЛЮЧОВІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ РОЗВИТКУ.....	182
Сікора О.В., Пазюк Р.І. ІГРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПІДВИЩЕННІ ЯКОСТІ НАВЧАННЯ ІНФОРМАТИКИ.....	188
Соломчак О.В., Соломчак А.О. ВИМІРЮВАННЯ ВИЩИХ ГАРМОНІК СТРУМІВ І НАПРУГ В ТОЧКАХ СПІЛЬНОГО ПРИЄДНАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ.....	194
Стаценко Д.В., Стаценко В.В., Злотенко Б.М., Демішонкова С.А. ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ МЕРЕЖАМИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	202
Тарновецька О.Ю., Осадчук Р.Р. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВЗАЄМОДІЇ МІЖ СЕРВІСАМИ ПРИ МІКРОСЕРВІСНІЙ АРХІТЕКТУРІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	208
Khambir V.R. ANALYZING PROJECT MANAGEMENT METHODS IN SOFTWARE DEVELOPMENT.....	218

Шкарупило В.В., Душеба В.В., Зайко Т.А., Шкарупило В.В., Скрупський С.Ю. ІНДУКТИВНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ФОРМАЛІЗОВАНИХ ПОДАНЬ ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ.....	224
--	------------

ЕНЕРГЕТИКА

Бовсуновський А.П., Носаль О.Ю. ОСОБЛИВОСТІ ВІБРАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПОШКОДЖЕННЯ ЛОПАТОК ТУРБІН.....	230
Бовсуновський О.А., Носаль О.Ю. ДІАГНОСТИКА ПОШКОДЖЕННЯ РОТОРІВ ТУРБІН НА СТАДІЇ РЕМОНТУ.....	238
Габовда О.В. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ, ЩО ЛЕЖИТЬ В ОСНОВІ РОБОТИ БЕЗЛОПАТЕВИХ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ.....	246
Пешко В.А., Коновалюк О.Л. ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ РОТОРА ТУРБІНИ ПІД ЧАС ПУСКОВОГО РЕЖИМУ РОБОТИ.....	254
Ryndyuk D.V., Bednarska I.S. MODELING OF STEAM GAS DYNAMICS IN MAIN PIPELINES OF NUCLEAR POWER PLANTS....	260
Шахбазов І.О., Сірий О.А. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ВОДНЕВМІСНОГО ПАЛИВА В ПРЯМОТОЧНОМУ ПАЛЬНИКУ КРУГЛОГО ПЕРЕТИНУ.....	265
Шелешей Т.В., Беднарська І.С., Панченко К.А., Федорук Р.О. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ БОРОТЬБИ З ОКСИДАМИ АЗОТУ В ГАЗОВИХ КОТЛАХ	271

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Кіндзера Д.П., Госовський Р.Р. ЗАСТОСУВАННЯ СЕРЦЕВИНИ СТЕБЕЛ СОНЯШНИКА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	276
Мельник Л.І., Свідерський В.А. ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ ПЕРЛІТУ.....	281
Фролова Л.А., Мандрика А.Г., Родін Д.О., Нікітін М.О., Фролов О.О. СТРУКТУРНІ ТА МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ НАНОЧАСТИНОК ФЕРИТУ КОБАЛЬТУ.....	288

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Павлюк С.К., Суха І.В. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТАРИ: ПРОБЛЕМА ПЕТ ТАРИ ТА ЇЇ УТИЛІЗАЦІЯ.....	292
--	------------

ТРАНСПОРТ

Биковець Н.П. АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ПО РІЧЦІ ДУНАЙ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ.....	297
Бойко С.М., Котов О.Б., Жуков О.А., Коваль А.М., Риков Г.Ю., Лапіна О.С. АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ.....	303
Гурч Л.М., Майструк В.О. СЬОГОДЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ В ПОВОЄННИЙ ПЕРІОД.....	308
Павловська Л.А., Коробкова О.М., Шпак Н.Г. ФОРМУВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРНОГО КАРКАСУ СХЕМ ДОСТАВКИ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА У ФЛЕКСІ-ТАНКАХ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ.....	314
Турпак С.М., Острогляд О.О., Васильєва Л.О., Харченко Т.В., Третяк В.І. ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ДОСТАВКИ ВАПНЯКУ РІЗНИМИ ТИПАМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ	321

Фомін О.В., Прокопенко П.М., Фоміна А.М., Гунько Є.В. ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ВАГОНА МОДЕЛІ 918 ТА МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ (З ВПРОВАДЖЕННЯМ КОМПОЗИТИВ) ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НАСИПНИХ ВАНТАЖІВ.....	327
Фомін О.В., Козинка О.С., Фоміна А.М., Лісничий В.С. ЗАСТОСУВАННЯ М'ЯКИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ НЕСІВНИХ СКЛАДОВИХ РУХОМОГО СКЛАДУ.....	332

БУДІВНИЦТВО

Арінушкіна Н.С., Грищенко Т.М. ВИКОРИСТАННЯ СПІНЕНИХ БІТУМІВ ПРИ ВИКОНАННІ БУДІВЕЛЬНО-РЕМОНТНИХ РОБІТ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ.....	337
Костін Д.Ю., Арінушкіна О.О., Тетера В.С., Сунь Д. ВПЛИВ ГЕНЕЗИСУ ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ НА МОРОЗОСТІЙКІСТЬ КРУПНОЗЕРНИСТИХ ЩЕБЕНЕВО-ПІЩАНИХ СУМІШЕЙ, УКРІПЛЕНИХ ЦЕМЕНТОМ.....	342
Савченко О.В., Ніжник В.В., Савченко Т.О. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ СИСТЕМ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ НА ІНДИВІДУАЛЬНИЙ ПОЖЕЖНИЙ РИЗИК.....	348

ГЕОДЕЗІЯ

Пілічева М.О. ІСНУЮЧІ ПІДХОДИ ДО ЦІНОУТВОРЕННЯ У СФЕРІ ЗЕМЛЕУСТРОЮ.....	354
---	-----

ЕЛЕКТРОНІКА

Burkovskiy Ya.Yu., Zinkovsky Yu.F. SIMPLIFIED SHUNT BANDWIDTH CHARACTERIZATION GENERATOR FOR WIDE BANDGAP POWER CONVERTERS.....	359
Томашевський Р.С., Васильчук Д.П., Залужна Г.В., Семенець Д.А. МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПЕЗОРЕЗОНАНСНОГО ДАТЧИКА НА ОСНОВІ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТ НУЛЬОВОЇ ФАЗИ.....	366
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	373

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.762

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.4/02>

Казимиренко Ю.О.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Лебедєва Н.Ю.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Довженко Д.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Риженко М.С.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Баюнов А.О.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ФОРМУВАННЯ КАРКАСНОЇ СТРУКТУРИ ПРЕСОВОК З ПОРОШКУ ТА СТРУЖКИ МІДІ

Актуальність досліджень зумовлена необхідністю застосування мідних пористих матеріалів у енергетичному машинобудуванні, хімічній промисловості, авіабудуванні тощо. Методами порошкової металургії виготовляються антифрикційні вироби, паливні та фільтрувальні елементи, пористість яких перевищуватиме 30 %. Технологічний цикл складається з операцій підготовки порошку, його пресування, спікання та наступного просочення рідкими компонентами. Порошки міді є дефіцитною і дороговартісною сировиною. Проте у чистому вигляді порошок міді не матиме тих властивостей, які необхідні для формування функціональних матеріалів. Тому за основу обирається пористий каркас, для виготовлення якого доцільно використовувати виробничі відходи, зокрема здрібнену стружку. Це спрямовано на вирішення проблеми ресурсозбереження. Мета роботи полягатиме у порівняльних дослідженнях процесів формування каркасної структури пресовок з порошку електролітичної міді та порошку, одержаного здрібненням мідної стружки.

Експериментальні роботи включали у себе: холодне однобічне пресування порошків на лабораторному пресі з питомим осьовим тиском 20 МПа, спікання заготовок при температурі 450...500°C у герметично зачиненому графітовому контейнері у лабораторній печі з окиснювальною атмосферою. За критерії структурних змін обрано розмір та форму пор, мікротвердість та ступінь деформації порошку, які визначалися на етапах пресування і спікання. Для досліджень застосовані методи оптичної металографії та механічних випробувань. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість формування каркасної структури пресовок з порошку, одержаного здрібненням мідної стружки. Експериментально отримані заготовки відрізняються від пресовок з порошку електролітичної міді більш розвинутою пористою структурою, що є переважним для подальшого просочення напівфабрикатів іншими речовинами: фторопластом, розплавом срібла, розм'якшеним склом тощо.

Перспективи наступних досліджень пов'язані з розширенням експериментальних робіт щодо впливу технологічних параметрів на формування спеціальних властивостей пористих мідних матеріалів.

Ключові слова: порошок міді, мідна стружка, холодне однобічне статичне пресування, структура.

Постановка проблеми. Ефективність застосування мідних пористих матеріалів у енергетичному машинобудуванні, суднобудуванні, хімічній промисловості, авіабудуванні зумовлена їх коро-

зійною стійкістю, тепло- і електропровідністю, зносостійкістю. З них виготовляються антифрикційні вироби, паливні та фільтрувальні елементи. Їх певні функціональні властивості визначаються

не тільки хімічним складом компонентів, а й каркасною структурою, для формування якої застосовуються методи порошкової металургії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Управління фізико-механічними процесами і регулювання характеристик пористих мідних матеріалів є *складною науково-практичною задачею*, вирішення якої спрямовано на вибір та розробку раціональних та ресурсозберігаючих технологій.

В роботі [1, с. 27-34] процеси формування пористих структур спечених порошкових матеріалів розглядаються за допомогою моделей, які враховують вплив геометрії пакування частинок губчастого титану на практичний процес регулювання пористості пресовки у межах 30...65 %.

Дослідження, наведені в роботі [2, с. 24-28], показують важливість процесів структуроутворення майбутнього матеріалу саме на етапі пресування. Автор аналізує форму пор, яка утворюється при пресуванні несферичних порошків. Експериментальні дослідження проведені для суміші порошку заліза губчастою форми з пороутворювачем – бікарбонатом амонію, який являє собою кристали неправильної форми. Підкреслено вплив величини однобічного статичного тиску (від 100 до 700 МПа) на витягнуту форму пор.

Результати досліджень процесів консолідації антифрикційних матеріалів композиції Cu–Pb–C методами порошкової металургії висвітлені авторами роботи [3, с. 7-21]. Завдяки підібраним технологічним параметрам підготовки суміші, холодного пресування при 500 МПа та спікання при температурі 900 °C вироби гомогенної структури не матимуть тріщин і гарно обробляються різанням.

Складність підготовки порошків електролітичної міді висвітлено у роботі [4, с. 55-64]. Авторами досліджуються процеси розмелу порошку у атриаторах та у млинах планетарних і вібраційних типів. В залежності від режимів обробки та використаного обладнання одночасно матимуть місце процеси диспергування і агломерації. На підставі вищевикладного аналізу слід зазначити, що порошок міді, особливо електролітичної, являє собою дефіцитну сировину з високою хімічною чистотою, застосування якої у технологіях порошкової металургії не завжди є доцільним і рентабельним.

Вирішення проблем заміни мідного порошку полягатиме у використанні як сировинної бази виробничих відходів, чому присвячено роботи [5, с. 93-215; 6, с. 101-109]. У роботі [5, с. 93-215] авторами підкреслено, що переробка вторинних ресурсів міді являє собою важливу науково-технічну проблему, вирішення якої полягатиме у сор-

туванні лому та відходів, класифікації їх за розмірами, подрібненні, компактуванні з наступною переплавкою. Для цього застосовуються технології плавлення мідевмісних відходів у шахтних, відбивних або електричних печах, що є дуже енергоємним процесом, особливо в умовах воєнного стану і блекаутів. Результати досліджень [6, с. 101-109] підкреслюють актуальність проблеми ресурсозбереження, яка вирішується шляхом розробки технології пакування металеві стружки з подальшим її брикетуванням та переробки на порошок. В роботі як приклад розглядаються випадки формування брикетів зі стружки кольорових металів і сплавів. Практичний досвід формування псевдосплавного покриття з порошку бронзи і стружки бабіту на сталеву поверхню висвітлено в роботі [7, с. 24-27], для чого авторами застосовано технологія гарячого пресування.

В результаті ознайомлення з сучасною практикою отримання мідних пористих матеріалів за методами порошкової металургії [3-7], визначено, що:

- в процесах формування регульованої дрібнозернистої структури перевага надається використанню спеціально підготовленим порошкам електролітичної міді;

- ресурсозберігаючі технології орієнтовані на застосування альтернативних видів сировини, таких як здрібнена стружка з виробничих відходів.

Таким чином, *наукове протиріччя* полягатиме у відсутності теоретичних передумов для розробки спрощених виробничих процесів формування мідних пористих заготівок.

Постановка завдання. Мета роботи полягатиме у порівняльних дослідженнях процесів формування каркасної структури пресовок з порошку електролітичної міді та порошку, одержаного здрібненням мідної стружки.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Матеріали та методи досліджень. Як науково-методичне підґрунтя для досліджень застосовано науково-практичні напрацювання авторів з формування мідних порошкових матеріалів і виробів [7, с. 24-27; 9, с. 105-106], основи теорії мідних сплавів [8, с. 342-357] та системно-аналітичний підхід до технологій рециклінгу виробничих відходів [10, с. 13-20].

Вибір та підготовка порошків. Вибір вихідної сировини відбувався за двома альтернативними напрямками. У першому випадку застосовано порошок міді марки ПСМ-1 (ДСТУ 4960:2019, IDT) дисперсністю 40...60 мкм, у другому – використано пробну партію порошку, отриману шляхом механічного подрібнення стружки

бракованих напівфабрикатів з міді марки М1 (ДСТУ 3211-2009). Оптичні мікрофотографії порошоків наведено на рис. 1.

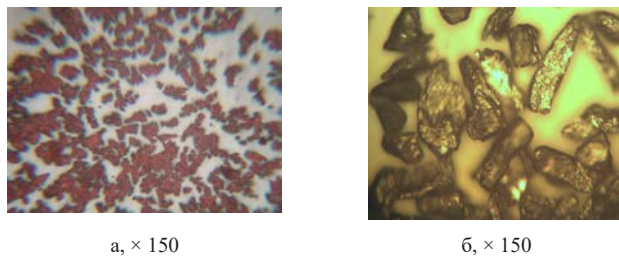


Рис. 1. Оптичні мікрофотографії ($\times 150$) порошку міді марки ПМС-1 (а) і порошку, отриманого механічним здрібненням стружки (б) [світлина зроблено авторами]

Морфологічні характеристики (середній розмір, фактор форми, питому поверхню) частинок досліджено методами оптичної металографії з використанням мікроскопів ММР-2Р і БИОЛАМ-И; мікротвердість порошку визначалась за допомогою приладу ПМТ-3 з навантаженням на індентор 50 мг. Результати досліджень показали, що середня дисперсність отриманого порошку міді (рис. 1, б) складатиме 120...180 мкм, фактор форми ставить 0,3...0,5; насипна щільність належить діапазону 1500...2000 кг/м³. Середній розмір частинок порошку електролітичної міді становить 60 мкм, фактор форми – 0,8.

Пресування порошоків. В роботі поставлено експериментальну задачу з дослідження можливості формування пористої заготовки за спрощеною технологічною схемою, для чого застосовано метод однобічного холодного пресування. Порошок без пластифікатора засипали у внутрішню порожнину (висотою 130 мм і внутрішнім діаметром 16 мм) рознімної пресформи, виготовленої з нержавіючої сталі марки 10Х18Н9Т (рис. 2). Задля запобігання утворення порожнеч і рихлостей порошок ретельно вирівнювали за допомогою верхнього пуансона, після чого обов'язково вимірювалася висота його засипання, що є необхідним для аналізу усадочних процесів.

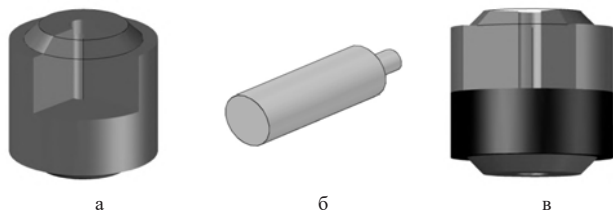


Рис. 2. Модель прес-форми: матриця (а); верхній пуансон (б); порошок у стані засипки (в) [3D-модель складено авторами]

На світлині (рис. 3) можна побачити як прес-форма з порошком розташовується у середині лабораторного пресувального обладнання (FR1000/2), за допомогою якого під поступово зростаючим тиском відбувається формування мідної порошкової пресовки. Максимальне значення прикладеного осьового навантаження контролюється за допомогою манометра і складатиме 4 т (20 МПа). Тиск витримується протягом 1-2 хв, після чого починається процес розпресування.



Рис. 3. Лабораторна установка для пресування порошоків [світлина зроблено авторами]

Усадочні і деформаційні процеси досліджувались за результатами визначень лінійних показників засипок порошку та висоти пресовок (рис. 4), мікроскопічних досліджень розмірів і форми мідних порошоків, які були підкріплені вимірюваннями їх мікротвердості у складі шліфованих зразків.

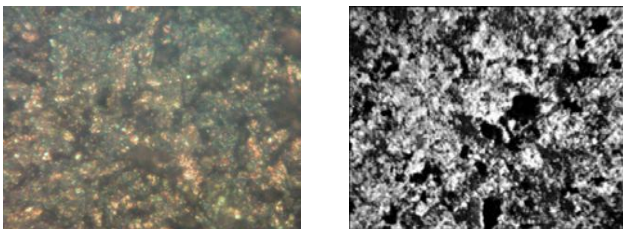


Рис. 4. Мідні пресовки [світлина зроблено авторами]

Аналіз отриманих результатів. Застосування електролітичного методу дає змогу отримувати тонкі, ультрадисперсні і навіть наноструктуровані порошки міді високої хімічної чистоти [11, с. 36-40]. Тому структура пресовки (рис. 5а), одержаної з порошку марки ПМС-1, являтиме собою щільно спресований каркас ($\rho = 4800$ кг/м³) з дрібними ($\approx 10...15$ мкм) і круп-

ними ($\approx 50...55$ мкм) порами округлої форми. Через холодне однобічне статичне пресування усадка порошкового тіла складатиме 35 %. Мікроструктурні дослідження показали незначну (до 5 %) лінійну деформацію частинок у напрямку, перпендикулярному напрямку пресування. Невеликий ступінь пластичного деформування окремих мідних частинок опосередковано підтверджується незначним приростом мікротвердості. У вихідному стані середнє значення $H_{\mu 50}$ становило 290 МПа, яке після холодного статичного пресування зросло 306 МПа.

На відміну від порошків електролітичної міді, порошок, отриманий зі стружки є більш пластичним. Під час холодного статичного пресування кожна частинка деформується у середньому на 15%, а загальна усадка пресовки становить навіть 60 %. Мікротвердість $H_{\mu 50}$ під дією пресування зростатиме майже удвічі: з 200 МПа до 350 МПа, що пояснюється явищем наклепу у пластично деформованому металі. Як показали мікроструктурні дослідження структура пресовки (рис. 5б) являтиме собою каркас щільністю 5100 кг/м³ з порами еліпсоподібної форми, середній розмір яких становить 60 мкм. Таким чином, можна зробити висновок про доцільність застосування порошку, отриманого здрібненням мідної стружки для формування пресовок методом однобічного статичного пресування.



а б
Рис. 5. Оптичні мікрофотографії ($\times 370$) мікроструктури мідних пресовок з порошку міді марки ПМС-1 (а) і порошку, отриманого механічним здрібненням стружки (б) [світлина зроблено авторами]

Спінання застосовується для фіксації структури мідних пресовок. У традиційних випадках температурний інтервал обирається як 0,7...0,8 від температури плавлення. Для антифрикційних матеріалів системи Cu-Pb-C він становить 890...910 °C [3, с. 7-21]. Проте у даному випадку за мету ставиться не отримання максимально щільного порошкового тіла, а фіксування пористого каркасу з міцністю, достатньою для подальшого просочення рідкими компонентами. Задачу забезпечення спеціального середовища для спі-

кання мідних пресовок вирішено шляхом застосування герметично зачиненого контейнера (рис. 6), виготовленого з термічно необробленого графіту марки МПГ-6.



Рис. 6. Графітовий контейнер для спікання [світлина зроблено авторами]

Пресовка разом з контейнером зазнавала нагрівання до температури 450...600 °C у лабораторній печі SNOL-1,6.2.08/9-M1 з окисною атмосферою; швидкість підйому температури не перевищувала 30...40 °C/хв. Охолодження зразків відбувалося разом з контейнером і піччю при відкритих дверцятах. Структурні зміни пресовок, зокрема мікротвердість, ступінь деформації порошку, геометрія приконтатної області визначалися при температурі 450...500 °C, що відповідатиме температурі рекристалізаційного відпалу мідних холоднокатаних дрітків-провідників [12, с. 97-106]. Заключне формування каркасу пресовки відбувається за механізмом твердофазного спікання з незначним ($\approx 5...7$ %) збільшенням щільності. Прикладання невеликого тиску пресування (20 МПа) не сприятиме значному деформуванню порошків у приконтатній області, проте запобігатиме появі пресувальних тріщин. Проте заготівки, які отримані з порошку здрібненої стружки, характеризуються більш розвинутою пористою структурою, що є важливим для подальшого просочення напівфабрикатів іншими речовинами: фторопластом, розплавом срібла, розм'якшеним склом тощо.

Порошкові заготівки, які далі будуть використані у технологіях інфільтрації, можна отримувати без застосування дорогого і складного обладнання.

Одержані результати спрямовані на вирішення важливої науково-технічної проблеми впровадження безвідходних технологій одержання функціональних порошкових матеріалів.

Висновки. Експериментальні роботи включали у себе: холодне однобічне пресування порошків на лабораторному пресі з питомим

осьовим тиском 20 МПа, спікання заготовок при температурі 450...500 °С у герметично зачищеному графітовому контейнері у лабораторній печі з окиснювальною атмосферою.

Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість формування каркасної структури пресовок з порошку, одержаного здрібненням мідної стружки. Заготовки відрізняються від пресовок з порошку електролітичної

міді більш розвинутою пористою структурою, що є переважним для подальшого просочення напівфабрикатів іншими речовинами: фторопластом, розплавом срібла, розм'якшеним склом тощо.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розширенням експериментальних робіт щодо впливу технологічних параметрів на формування спеціальних властивостей пористих мідних матеріалів.

Список літератури:

1. Клименко Л. П., Андреев В. И., Случак О. И., Прищепов О. Ф., Щесюк О. В. Модель формирования пористости брикетов губчатого титана на стадии спекания. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2023. № 1 (85) С. 27-34.
2. Руденко Н. О. Дослідження основних структурних характеристик високопористих порошкових матеріалів. *Науковий вісник Донбаської державної металургійної академії*. 2017. № 1 (22Е). С. 24-28.
3. Чишкала В. О., Литовченко С. В., Геворкян Е. С., Нерубацький В. П., Мазілін Б. О. Дослідження особливостей консолідації антифрикційних матеріалів на основі порошкової суміші Cu-Pb-C. *Збірник наук. праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2021. Вип. 198. С. 7-21.
4. Гончарук А. О., Хоменко О. В., Найда Ю. І. Особливості розмелу порошку електролітичної міді у млинах різного типу. *Електричні контакти і електроди*. 2014. С. 55-64.
5. Металургія кольорових металів: підручник. Ч.7. Вторинна металургія кольорових металів / Бредихін В.М., Маняк М.О., Смирнов В.О., Пожусь В.І., Червоний І.Ф., Грицай В.П. Запоріжжя, 2009. 452 с.
6. Чернишов О. О., Чернишов О. В., Чухно С. І., Яновський В. А. Дослідження процесу пакетування металевих стружки. *Технічна інженерія*. 2023. № 1(91). С. 101-109.
7. Казимиренко, Ю. О., Лебедева Н. Ю. Закономірності формування покриття з порошків бронзи та бабіту методом гарячого пресування. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2015. № 5/7 (25). С. 24-27.
8. Інженерне матеріалознавство : підручник / Дубовий О. М., Казимиренко Ю. О., Лебедева Н. Ю., Самохін С. М. Миколаїв : НУК, 2009. 444 с.
9. Лебедева, Н. Ю., Дрозд О. В., Гашицька О. М., Буренко Г. М. Формування мідних пористих матеріалів з використанням виробничих відходів. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р.) : у 2 т. / відповідальний за випуск: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. Т. 2. Чернігів, 2023. 360 с.*
10. Казимиренко, Ю. О., Дрозд О. В. Системно-аналітичний підхід до підвищення ефективності рециклінгу виробничих скляних відходів. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*. 2022. № 29. С. 13-20.
11. Павленко Є. В., Єгоров С. Г. Сучасні методи одержання мідного порошку, що містить нанододатки. *Металургія*. 2015. Вип. 1(33) С. 36-40.
12. Федулова О. Ф. Особливості експертного дослідження оплавлень короткого замикання на провідниках, що зазнали тривалого відпалу в умовах пожежі. *Криміналістичний вісник*. 2017. № 2 (28) С. 97-106.

Kazymyrenko Yu.O., Lebedieva N.Yu., Dovzhenko D.V., Ryzhenko M.S., Baiunov A.O. FORMATION OF THE FRAME STRUCTURE OF PRESSES COPPER POWDER AND SHAVINGS

The relevance of the research is due to the need to use copper porous materials in power engineering, chemical industry, aircraft construction, etc. Powder metallurgy methods are used to manufacture antifriction products, fuel and filter elements, the porosity of which exceeds 30%. The technological cycle consists of powder preparation, pressing, sintering and subsequent impregnation with liquid components. Copper powders are scarce and expensive raw materials. However, in its pure form, copper powder will not have the properties that are necessary for the formation of functional materials. Therefore, a porous frame is chosen as a basis, for the manufacture of which it is advisable to use industrial waste, in particular crushed chips. This is aimed at solving the problem of resource conservation. The aim of the work will be to conduct comparative studies of the processes of formation of the framework structure of pressings from electrolytic copper powder and powder obtained by grinding copper shavings.

Experimental works included: cold one-sided pressing of powders on a laboratory press with a specific axial pressure of 20 MPa, sintering of blanks at a temperature of 450... 500 °C in a hermetically sealed graphite container in a laboratory furnace with an oxidizing atmosphere. The criteria for structural changes were the size and shape of the pores, microhardness and degree of deformation of the powder, which were determined at the stages of pressing and sintering. Methods of optical metallography and mechanical tests were used for research. The possibility of forming a frame structure of presses from powder obtained by grinding copper shavings has been theoretically substantiated and experimentally confirmed. Experimentally obtained blanks differ from presses from electrolytic copper powder by a more developed porous structure, which is preferable for further impregnation of semi-finished products with other substances: fluoroplastic, silver melt, softened glass, etc.

Prospects for further research are related to the expansion of experimental work on the influence of technological parameters on the formation of special properties of porous copper materials.

Key words: copper powder, copper shavings, cold one-sided static pressing, structure.