

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

ШЕПЕЛЕНКА Ігоря Віталійовича

на дисертаційну роботу **ТЕЛЯТНИК Інни Анатоліївни**

на тему «**Дослідження деформаційного зміцнення робочих поверхонь**

грунтообробних машин гідроімпульсним навантаженням»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 132 Матеріалознавство

(галузь знань 13 Механічна інженерія)

1. Оцінка структури та змісту дисертації

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків та списку використаних джерел і додатків, що включає 189 сторінок, зокрема, додатків на 15 сторінках. Основний текст дисертації розміщено на 125 сторінках, містить 66 рисунків і 9 таблиць. Список використаних джерел нараховує 116 найменувань на 13 сторінках.

2. У дисертаційній роботі виконано такі завдання:

1. Проаналізовано відомі процеси зношування робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських машин та охарактеризовано параметри, та особливості застосування методів поверхнево-пластичної деформації для підвищення зносостійкості.

2. Розроблено принципову схему пресу з гідроімпульсним приводом.

3. Розроблено математичну модель циклу роботи гідроімпульсного пристрою для деформаційного зміцнення та досліджено формозміну структури полікристалічних матеріалів при деформації.

4. Розроблено експериментальний стенд з гідроімпульсним приводом для поверхнево-пластичного деформування деталей та встановлено залежність параметрів твердості матеріалу від режимів роботи гідроімпульсного обладнання і конструктивних параметрів ударника.

5. Виконано виробничі дослідження та впровадження закономірностей робочих режимів гідроімпульсного навантаження.

Відповідно до поставленої мети та завдань, що спрямовані на її досягнення, побудовано план роботи, який розкривається у вступі, чотирьох розділах та висновках до дисертаційної роботи.

3. Експертиза змісту розділів дисертації

У вступі обґрунтовано актуальність обраного напряму дослідження, що зумовлено необхідністю підвищення показників надійності робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських машин. Для підвищення довговічності та зносостійкості деталей машин застосовують поверхневе зміцнення шляхом

наклепу в робочих зонах з використанням методів поверхневої пластичної деформації (ППД). Зазначено, що ППД може бути реалізована за допомогою різних механізмів, пристроїв та приводів, при цьому особлива перевага надається гідроімпульсному приводу, що дозволяє створювати малогабаритні пристрої для зміцнення, які можуть бути інтегровані безпосередньо у робочу зону металорізальних верстатів.

У першому розділі дисертаційної роботи виконано аналіз відомих методів ППД як ефективного технологічного рішення для підвищення зносостійкості та надійності робочих органів ґрунтообробної техніки. Зазначено, що при ППД підвищується твердість і міцність поверхні, утворюються сприятливі залишкові напруження стискання, що підвищують втомну міцність деталей, сприяють зменшенню шорсткості поверхні, формуванню дрібнозернистої структури та підвищеної стійкості до корозійного впливу.

Авторкою детально описано механізм деформаційного наклепу, що є наслідком пружно-пластичної деформації поверхневого шару металу при обробці деталей методами ППД. Процес спричиняє глибокі структурні зміни у полікристалічних матеріалах: зерна металу змінюють свою форму, створюють текстуру деформації з переважним орієнтуванням осей найбільшої міцності вздовж напрямку деформації.

Особливу увагу приділено конструктивним особливостям та типам вібробуджувачів для реалізації ППД, ефект якого полягає у підвищенні зносостійкості та втомної міцності деталей за рахунок структурного зміцнення поверхневого шару. Визначено, що використання різних типів вібробуджувачів (механічних, гідравлічних, пневматичних та електромагнітних) надає великого потенціалу для удосконалення технологій обробки та випробувань матеріалів. Комбіновані гідроелектричні вібробуджувачі дозволяють досягти високої ефективності завдяки поєднанню переваг гідравлічного та електромагнітного приводів.

За результатами розділу обґрунтовано необхідність подальших досліджень та розробки вдосконалених технологій та пристроїв для деформаційного зміцнення деталей сільськогосподарських машин, зокрема на основі динамічних методів ППД для підвищення їх надійності та довговічності в умовах інтенсивної експлуатації.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено компоюванню та конструктивним рішенням щодо оптимізації роботи гідроімпульсного привода (ГП). Авторкою визначено основні вимоги до ГП для вібраційних та віброударних машин: мінімізація сумарного об'єму напірної порожнини для забезпечення максимальної жорсткості гідросистеми. Крім того, зазначено, що конструкція ГП має забезпечувати стабільність ампліудно-частотної

характеристики навіть при нагріванні робочої рідини, бути простою в керуванні та обслуговуванні.

Особливої уваги заслуговує розробка принципової схеми пресу з електрогідравлічним керуванням для формоутворення деталі. Завдяки використанню програми ISIS вперше була впроваджена електрична схема блоку керування, що забезпечує використання частоти удару від 25, 50 Гц.

Рекомендовано циклові пружинні гідроакумулятори з регуляторами тиску накопичення, які мінімально змінюють об'єм напірної порожнини та підтримують гідравлічну жорсткість для амплітуди вібрації ≥ 2 мм.

Визначено вплив геометричної форми ударника на процес ППД, а також ступінь деформації поверхні металів при ударній дії сферичного ударника, встановлено роль скупчень дислокацій у зміцненні металів при деформації.

Робочий цикл гідроімпульсного пристрою представлено та проаналізовано на базі умовної циклограми, яка наглядно ілюструє зміну тиску в напірній порожнині та переміщення сідла і поршня-ударника для випадку максимальної частоти імпульсів.

Застосовано «пружно-зосереджена модель» енергоносія для математичного опису динаміки робочого циклу, в якій гідравлічну ланку привода представлено тілом Кельвіна-Фойгта (в'язко-пружна модель).

Визначено передаточне відношення, жорсткість безінерційного пружного елемента, силу в'язкого опору дисипативного елемента, а також встановлено зв'язок між тиском енергоносія та деформацією гідравлічної ланки. Отримані аналітичні взаємозв'язки та математичні моделі є основою для подальших розрахунків та експериментального підтвердження основних параметрів ГПП, спрямованих на підвищення його ефективності у процесах деформаційного зміцнення.

У третьому розділі дисертації розроблено модель гідроімпульсного пристрою, що забезпечує механіку процесу деформаційного зміцнення робочих органів ґрунтообробної техніки, підвищення їх зносостійкості та довговічності в умовах інтенсивного абразивного зношування.

Значну увагу авторкою приділено обґрунтуванню доцільності застосування деформаційного зміцнення для робочих органів ґрунтообробної техніки, зокрема лемешів плугів і лап культиваторів. Показано, що обробка деталей методами ППД супроводжується формуванням сприятливого напружено-деформованого і фізичного стану поверхневого шару, що характеризується підвищенням твердості, утворенням залишкових напружень стискання та зменшенням мікронерівностей поверхні, і може використовуватися як для відновлення геометричних параметрів, так і для зміцнення поверхневого шару.

Для визначення основних закономірностей зміни робочих режимів ГПП (подачі гідронасоса, частоти вхідного сигналу на електрогідравлічний клапан) проведено експериментальні дослідження з відновлення різальних кромek робочих органів ґрунтообробної техніки методом пластичного деформування.

Аналіз конструктивних рішень пресового обладнання з використанням ГПП, що забезпечує формування ударних і віброударних навантажень із керованими параметрами, дозволив довести, що ефективність пресового обладнання характеризується насамперед типом привода, який визначає характер навантаження та енергетичні параметри процесу ППД.

Експериментально встановлено зону поширення пластичної деформації поверхневого шару сталі 65Г, при якій коефіцієнт пластичної деформації досягає максимального значення на поверхні контакту ударника ($\epsilon_{\max} = 2,7$) та зменшується за глибиною до $\epsilon_{\min} = 0,1$. Максимальна глибина деформованого поверхневого шару становить 1,5 мм. Визначено, що для конструкційних сталей оптимальне значення енергії удару становить 15–50 Дж.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено виробничим випробуванням ГПП.

Авторкою встановлено закономірності зміни робочих параметрів пресу для імпульсного типу навантаження, адекватність роботи при параметричному налаштуванні та заданому законі зміни потоку рідини.

Для можливості отримання даних щодо параметричного і регульованого керування пресом виконано виробниче дослідження, яке складалося з декількох етапів. При перевірці параметричного режиму керування встановлено, що система керування не може адекватно працювати через перехідні процеси у напірній гідролінії. Результати досліджень свідчать про те, що за допомогою системи керування, яка складається з блоку керування та електрогідравлічного клапана, можна отримати вібрації на виконавчій ланці в межах від 1 до 60 Гц з амплітудою коливань до 4 мм. Зазначена залежність амплітуди та частоти від подачі гідронасосом. Визначено, що при максимальній подачі насоса оптимальний діапазон для отримання імпульсного типу навантаження становить 20-35 Гц з амплітудою вібрацій до 2 мм.

Дослідження механізму деформаційного зміцнення при динамічному ППД виконувалося за допомогою мікроструктурного аналізу. Проаналізовано послідовні фази деформаційного зміцнення металу (сталь 65Г).

Аналіз зон деформації ударниками діаметром 4, 6, 8, 10 мм дозволив визначити її оптимальний діаметр – 10 мм, що сприяє створенню напружених зон без суттєвого впливу на зону деформації.

Авторка слушно підкреслює, що основною причиною зміцнення є лавиноподібний розвиток дислокацій та їх уповільнення перед перешкодами.

Збільшення питомого об'єму металу зумовлює утворення залишкових напружень стискання, а глибина їх залягання зазвичай на 10-50% перевищує глибину шару з підвищеною твердістю.

Дослідження теплового циклу на поверхні заготовки внаслідок пластичної деформації при механічній обробці дозволило встановити взаємозв'язок між тепловою енергією та тепловими полями, що виникають в третинній зоні зсуву. Встановлено, що вздовж довжини контакту повинен існувати принаймні один пік температури.

Особливої уваги заслуговує схематичне зображення авторкою еволюції теплового поля та градієнтів температури в зонах зсуву металу внаслідок фрикційної взаємодії та пластичної деформації, що розвивається на межі розділу інструмент – заготовка.

Запропоновано та випробувано у виробництві ресурсощадний процес зміцнення робочої поверхні лапи культиватора, що базується на поверхнево-пластичній деформації при гідроімпульсному впливі, та дозволяє зменшити габаритні розміри запропонованої установки для її раціонального розміщення в умовах виробничої зони.

Дослідження властивостей дослідної партії лап культиваторів показало ефективність прийнятий технічних рішень: твердість матеріалу підвищується на 37-46%, деформаційне зміцнення за характеристикою мікротвердості досягає 25-50%. При експлуатаційних випробуваннях напрацювання робочих органів ґрунтообробних машин збільшується до 43%, що забезпечує збільшення напрацювання до відмови машини на елемент зношення робочого органу.

Задля забезпечення збільшення площ оброблюваних земель процес зміцнення робочих поверхонь ґрунтообробних машин рекомендовано виконувати перед початком їх використання.

У загальних висновках наведено найбільш важливі наукові та практичні результати, що базуються на теоретичному узагальненні та практичному вирішенні поставлених завдань.

Список використаних джерел, який налічує 116 найменувань, достатньо повно охоплює зазначену галузь знань та відображає належний обсяг оброблених джерел.

Дисертаційна робота написана діловою українською мовою з науковим стилем викладення її змісту. Вона характеризується цілісною, змістовною завершеністю, логічною послідовністю розглянутих питань, чіткістю та достовірністю викладення матеріалів дослідження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

На основі проведеної експертизи слід констатувати наявність наступних необхідних елементів у роботі.

4. Актуальність теми дисертаційного дослідження

Актуальність теми дисертаційного дослідження не викликає сумнівів і повністю відповідає сучасним пріоритетам розвитку машинобудування та матеріалознавства. Дисертаційна робота спрямована на вирішення важливого наукового завдання, що пов'язане з підвищенням зносостійкості робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських машин.

Головною причиною втрати працездатності робочих органів ґрунтообробної техніки є абразивне зношування, яке становить понад 60% від загального обсягу зношень, та призводить до критичного зношення різальних кромки та носків деталей, збільшення тягового опору агрегатів та зниження якості обробки ґрунту. У представленій дисертаційній роботі проведені дослідження, що спрямовані на розробку, теоретичне обґрунтування, експериментальну перевірку та виробниче впровадження процесу деформаційного зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин, таких як лапи культиваторів та лемеші плугів, із застосуванням гідроімпульсного приводу.

Для підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин застосовують поверхневе зміцнення шляхом наклепу в місцях локалізації напружень. При цьому при ППД деталей можуть бути використані механічні, пневматичні та гідравлічні приводи. Серед різноманітних типів гідроприводів найбільш перспективним слід вважати гідроімпульсний, який дозволяє створювати компактні пристрої для деформаційного зміцнення поверхонь деталей.

Отже, одним із напрямків підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин є їх ППД гідроімпульсним навантаженням. Досягнення поставленої мети вимагає розробку гідроімпульсного пристрою та проведення спеціальних досліджень деформаційного зміцнення робочих поверхонь ґрунтообробних машин гідроімпульсним навантаженням, що стане основою для виробничого впровадження ресурсоощадного процесу зміцнення робочої поверхні лапи культиватора.

В цьому контексті вельми актуальним і своєчасним виглядає об'єкт дослідження – процес поверхнево-пластичного деформування робочих поверхонь виконавчих елементів ґрунтообробної техніки за умов гідроімпульсного навантаження.

Ефективне впровадження деформаційного зміцнення робочих поверхонь ґрунтообробних машин гідроімпульсним навантаженням потребує обґрунтованого вибору обладнання, оснащення, схеми та режимів ППД,

технологічного середовища, варіантів застосування гідроімпульсного приводу. Саме цим проблемам і присвячено представлене дисертаційне дослідження, що підтверджує його високу актуальність як у науковому, так і прикладному контексті.

5. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконувалася у Вінницькому національному аграрному університеті (ВНАУ) в межах ініціативної науково-дослідної роботи «Створення та застосування нових технологій пластичного формозмінення з використанням прогресивних методів дослідження механіки деформування для отримання деталей з покращеними експлуатаційними характеристиками» (№ 0122U002097, термін виконання 03.2022 р. – 03. 2026 р.), із залученням дисертантки.

Дисертаційні дослідження проводилися у відповідності до договорів між Вінницьким національним аграрним університетом та ТОВ «Агромаш-Калина» і ТОВ «АБА «Астра»», про що свідчать акти виробничої перевірки та впровадження у виробництво. Окремі положення дисертаційної роботи впроваджено у навчально-методичний процес та наукову роботу кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету.

6. Наукова новизна отриманих результатів

1. Встановлено закономірності розподілу пластичної деформації у поверхневому шарі конструкційних сталей за умов гідроімпульсного навантаження, що дозволило визначити граничну глибину наклепаної зони та характер її зміни залежно від енергетичних і геометричних параметрів ударного впливу.

2. Розроблено математичну модель циклу роботи гідроімпульсного пристрою, що забезпечує прогнозування ефективності процесу поверхнево-пластичної деформації та визначення енергії деформованої зони оброблювальної поверхні.

3. Запропоновано експериментально-аналітичний підхід до дослідження процесів деформаційного зміцнення, який поєднує модельні уявлення з експериментальними даними про розподіл пластичної деформації за глибиною поверхневого шару.

7. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, та їх достовірність

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи є повністю обґрунтованими як з наукової, так і з технічної точки зору. Високу ступінь достовірності отриманих результатів забезпечує побудова математичної моделі циклу роботи гідроімпульсного пристрою для деформаційного зміцнення, що дозволило дослідити формозміну структури полікристалічних матеріалів при деформації.

Теоретичні дослідження базуються на положеннях матеріалознавства та теорії пластичної деформації, які використовувалися для аналізу процесів поверхнево-пластичної деформації при гідроімпульсному навантаженні. Експериментальні дослідження виконано з використанням спеціально розробленого гідроімпульсного обладнання, що забезпечувало реалізацію ударного навантаження з керованими параметрами.

Розробка експериментального стенда з гідроімпульсним приводом для поверхнево-пластичного деформування деталей та експериментально встановлені залежності параметрів твердості матеріалу від режимів роботи гідроімпульсного обладнання і конструктивних параметрів ударника дозволило встановити основні закономірності досліджуваного процесу.

Практична ефективність запропонованих технічних рішень підтверджуються відповідним актами впровадження.

8. Практична значимість отриманих результатів

1. Результати теоретичних та експериментальних досліджень процесу поверхнево-пластичної деформації робочих органів ґрунтообробної техніки за умов гідроімпульсного навантаження використовуються у навчальному процесі Вінницького національного аграрного університету при викладанні дисциплін інженерно-технологічного спрямування, зокрема «Надійність і ремонт машин», «Трактори і автомобілі», «Сільськогосподарські машини» (довідка № 01.1-60-1590 від 10.12.2025 р. додаток Д).

2. На основі отриманих результатів і розроблених технічних рішень конструкторська та технологічна документація гідроімпульсного пристрою передана підприємству ТОВ «Агромаш-Калина» (м. Калинівка, Вінницька область) для виготовлення дослідних зразків і проведення подальших виробничих випробувань з перспективою впровадження технології деформаційного зміцнення у серійне виробництво (акт про впровадження/використання результатів науково-технічної роботи від 19.11.2025 р. додаток Е). Рекомендації щодо вибору режимних і енергетичних параметрів гідроімпульсного навантаження, а також методичні підходи до оцінювання ефективності деформаційного зміцнення, використані у виробничій діяльності ВНАУ та ТОВ «АБА «АСТРА» (с. Якушинці, Вінницька область) під час виконання робіт з відновлення та підвищення зносостійкості деталей машин сільськогосподарського призначення (акт про виробничу перевірку від 10.11.2025 р. додаток Ж).

9. Апробація матеріалів дисертації

Основні положення та результати роботи пройшли апробацію на науково-технічних конференціях: ХХІІІ Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми землеробської механіки» присвячена 122-річчю з дня народження

академіка Петра Мефодійовича Василенка. Київ-Житомир. 16 – 18 жовтня 2022 року; Всеукраїнська науково-практична конференція «Інноваційні процеси агропромислової інженерії в умовах сталого розвитку: проблеми та перспективи». Вінниця. 20 – 21 жовтня 2022 року; II Міжнародна науково-практична інтернет-конференції «Scientific research and innovation». Дніпро. 03-04 квітня 2023 року; IX Міжнародна науково-практична конференція «Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування». Луцьк. 30 травня – 01 червня 2023 року; III Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту». Вінниця. 01 – 03 червня 2023 року; XXIV Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми землеробської механіки» присвячена 123-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка і 125-річчя з дня заснування кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки імені академіка П. М. Василенка. Київ - Голосієво. 17 – 19 жовтня 2023 р; XV Міжнародна науково-практична інтернет-конференції «Modern Movement of Science». Дніпро. 19 – 20 жовтня 2023 року; Всеукраїнська науково-практична конференція «Інноваційні підходи агропромислової інженерії у контексті євроінтеграції». Вінниця. 19-20 жовтня 2023 року; I Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Nuclear Potential and Possible Threats to the Modern World». Дніпро. 26 – 27 жовтня 2023 року; II Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Achievements of 21st Century Scientific Community». Дніпро. 16 – 17 вересня 2024 року; XVI Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Modern Movement of Science». Дніпро. 14 – 15 жовтня 2024 року; Всеукраїнська науково-практична конференція «Інноваційні підходи агропромислової інженерії в контексті глобальних викликів». Вінниця. 17-18 жовтня 2024 р; Всеукраїнська науково-практична конференція «Сталий розвиток України в умовах європейської інтеграції: сучасний стан, шлях відновлення та перспективи». Вінниця. 15-16 травня 2025 р; Всеукраїнська науково-практична конференція «Інноваційні підходи агропромислової інженерії: проблеми та перспективи». Вінниця. 30-31 жовтня 2025 року.

10. Повнота викладання в опублікованих працях основних наукових та прикладних результатів дисертації

За результатами проведених теоретичних і експериментальних досліджень опубліковано 21 наукову працю, зокрема: 7 статей у наукових фахових виданнях України; 1 – у фахових виданнях інших держав та 1 – у наукових журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science Core Collection; 12 тез доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій.

Публікації відповідають встановленим вимогам та достатньо повно відображають зміст роботи.

11. Зауваження по змісту і оформленню дисертації

1. У підрозділі 1.5, в якому представлено конструктивні особливості вібробуджувачів для забезпечення поверхнево-пластичної деформації, авторка стверджує про переваги та перспективність використання гідроімпульсних приводів. Однак у тексті роботи відсутнє обґрунтування або наведення конкретних доказів на користь цієї тези.

2. На наведених фотографіях мікроструктури зразків (рис.1.15, 1.19, 3.3, 4.3, 4.5) не вказано масштаби збільшення. Деякі рисунки (рис.1.1 б, 1.4, 1.21, 1.23 а, 1.24 а) мають низьку якість.

3. За даними рис.3.9, 3.10 не зрозуміло, в якій спосіб визначено коефіцієнт пластичності.

4. Потребує пояснення та обґрунтування чому при плануванні експерименту в якості вхідних факторів обрано: деформаційне зміцнення, глибина наклепаної зони, кількість ударів, ширина оброблюваної поверхні, а поверхнями відгуку є енергія удару та твердість металу, які взаємопов'язані.

5. У підрозділі 4.5 наголошується, що за результатами проведення експлуатаційних випробувань напрацювання робочих органів ґрунтообробних машин збільшується до 43%. Однак при цьому відсутні дані про розмір дослідної партії та умови проведення випробувань.

6. У розділі 4 та загальних висновках до дисертаційної роботи бажано було б надати оцінку економічної ефективності запропонованому процесу відновлення та зміцнення лап культиватора на основі поверхнево-пластичної деформації при контрольованому гідроімпульсному впливі.

7. У роботі недостатньо уваги приділено наданням практичним рекомендаціям щодо впровадження технології зміцнення робочих поверхонь лап культиваторів та лемешів плугів.

12. Відсутність порушення академічної доброчесності

Перевірка дисертації на академічну доброчесність була здійснена з використанням програмного забезпечення StrikePlagiarism. Рівень оригінальності становить 87,38%, що відповідає вимогам академічної доброчесності. Текст дисертації відрізняється чітко вираженим авторським стилем і є результатом самостійного дослідження.

13. Загальні висновки щодо дисертації

Дисертаційна робота **Телятник Інни Анатоліївни** на тему «Дослідження деформаційного зміцнення робочих поверхонь ґрунтообробних машин гідроімпульсним навантаженням» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 13 Механічна інженерія.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач **Телятник Інна Анатоліївна** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Офіційний опонент:

д.т.н., професор,
професор кафедри
експлуатації та ремонту машин
Центральноукраїнського
національного технічного університету



Ігор ШЕПЕЛЕНКО

Підпис Ігоря ШЕПЕЛЕНКО засвідчую:
Проректор з наукової роботи та
міжнародних зв'язків
Центральноукраїнського
національного технічного університету



Андрій ТИХИЙ