

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**КОРЕННОГО Володимира Віталійовича**

«Розробка способів діагностування технічного стану ліній приводу валків прокатних клітей»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.08 - Машини для металургійного виробництва

### **1. Актуальність теми та відповідність роботи спеціальності 05.05.08 - машини для металургійного виробництва**

Обладнання прокатного виробництва, зокрема прокатні стани, працюють під дією великих статичних навантажень та динамічних навантажень, що виникають під час захвату розкату валками, значення яких перевищують статичні в 3 – 5 раз. Це впливає на збільшення інтенсивності зносу та зазорів, що в свою чергу підвищує кількість виходів з ладу прокатного обладнання. Наявних систем діагностування стану обладнання не є достатньо. Тому проведені в роботі розробка та дослідження нових способів визначення технічного стану обладнання, з урахуванням специфічних умов технологічного процесу, особливостей конструкції та режимів роботи прокатних станів, а саме вимірювання енергосилових параметрів, розробка комплексної математичної моделі перехідних процесів у лінії приводу з метою їх більш глибокого вивчення, розробка способів визначення кутових та радіальних зазорів у лінії приводу прокатної кліті та способів зменшення динамічних навантажень є актуальними.

Тема, зміст і основні положення дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.05.08 – «Машини для металургійного виробництва».

### **2. Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій**

Отримані у дисертації результати характеризуються достатньо повною аргументацією наукових положень, що підтверджуються аналізом науково-технічної літератури. Здобувачем, як зазначається у рукописі дисертації, використано 141 найменування джерел з урахуванням 31 публікації автора, у яких відображені різні аспекти проблематики обраної теми.

Достовірність наукових результатів та висновків підтверджується коректністю постановки задач на підставі всебічного аналізу та узгодженості вихідних даних, одержаних шляхом математичного моделювання та дослідних вимірювань. Розроблені способи визначення технічного стану обладнання, які перевірені шляхом прямих вимірювань на діючому стані 1680 при різних значеннях зносу і зазорів.

Тому вважаю сформульовані в роботі наукові положення, висновки і рекомендації в достатньому ступені обґрунтованими і достовірними які відповідають сучасним уявленням про предмет дослідження.

### **3. Новизна наукових положень, результатів і рекомендацій**

Робота беззаперечно містить нові наукові результати, які можливо сформулювати наступним чином:

1. Отримав подальший розвиток теоретичний опис перехідних процесів в обладнанні клітей широкоштабових станів гарячої прокатки, який полягає у тому,

що вперше шляхом математичного моделювання та натурних вимірювань встановлено особливості динаміки зубчастих з'єднань та траєкторії руху у полі радіальних зазорів підшипникових опор осей зубчатих коліс редуктора та шестеренної кліті з різним конструктивним розташуванням шестерні відносно колеса. Показано різний напрямок переміщення осей зубчатих коліс редуктора та зусиль між зубцями і у підшипникових опорах редуктору. Запропоновано новий показник динамічності підшипникової опори, який дорівнює відношенню максимального значення зусилля реакції до сталого значення у режимі прокатки.

2. Вперше на базі численних вимірювань та шляхом математичного моделювання встановлено статистичну залежність максимального динамічного моменту у період захвату метала валками від моменту у сталому режимі прокатки у вигляді кореляційного поля точок, яке апроксимовано лінійною залежністю, кут нахилу якої залежить від технічного стану – зносу та зазорів ділянок лінії приводу прокатної кліті.

3. Вперше розроблені, обґрунтовані і досліджені способи діагностування технічного стану обладнання лінії приводу валків з використанням параметрів перехідних процесів:

- за кутом нахилу лінійної апроксимації кореляційного поля максимальних динамічних і статичних моментів сил пружності;

- за швидкістю розповсюдження пружної деформації вздовж лінії приводу, з урахуванням руху ударної хвилі не тільки вздовж з'єднаних валів, а й згинання зубчатих коліс і передаточного відношення редуктору. Швидкість розповсюдження деформаційної хвилі поряд з часом запізнення реакції ділянок лінії приводу залежить від технічного стану – зносу і зазорів в зчленуваннях, що дозволяє підвищити точність діагностування;

- за співвідношенням першого періоду коливань моменту сил пружності на моторній ділянці, вібрації корпусу редуктора та електромагнітного моменту двигуна;

- за сигналом тиску у гідравлічній системі врівноваження робочих валків та кутової швидкості двигуна;

- за часом запізнення реакції моменту сил пружності або вібрації корпусного обладнання першої кліті в режимі взаємодії двох клітей, коли відбувається захват штаби валками другої кліті;

4. Для уточнення величин пружностей ділянок у трьохмасовій рядній схемі лінії приводу використано момент сил пружності, що виміряний безпосередньо на прокатній кліті, у якому знаходять фактичні частоти власних коливань лінії приводу і з їх допомогою визначають скориговані параметри пружностей. Це дозволяє підвищити точність розрахунку динамічних навантажень і способів діагностування за допомогою математичного моделювання.

5. Запропоновані та досліджені нові способи зменшення динамічних навантажень під час захвату метала валками шляхом:

- зниження впливу зазорів за рахунок короткочасного підйому та опускання верхнього опорного валка;

- зниження впливу зазорів за рахунок згинання передньої частини штаби у жолоб та її розгинання;

- формування трапецієвидної передньої частини штаби для чистової групи клітей;

- встановлення двигуна постійного струму у чистову групу стана 1680 і з'єднання його с шестеренною кліттю валом підвищеної довжини.

Вважаю важливим новим науковим результатом роботи розробку та дослідження способів діагностування технічного стану обладнання лінії приводу валків з використанням параметрів перехідних процесів.

#### **4. Цінність для науки і практики результатів досліджень**

1. Розробка моделі лінії приводу, що дає можливість вести пошук динамічних навантажень з урахуванням широкого різновиду сортаменту, що виробляється та визначати більш раціонально місця встановлення діагностичних датчиків.

2. Розробка способів оцінювання технічного стану обладнання ліній приводу прокатних клітей за швидкістю розповсюдження деформаційної хвилі вздовж лінії приводу при захваті металу прокатними валками; за даними вимірювання тиску у гідравлічній системі врівноваження прокатних валків, параметрів вібрації корпусу редуктора та електромагнітного моменту двигуна при захваті металу прокатними валками, за сигналами датчиків обертання деталей лінії приводу.

3. Розробка методики визначення двох перших власних частот коливань лінії приводу прокатної кліті за даними промислових вимірювань моменту сил пружності.

4. Розробка способів зменшення динамічних навантажень у лініях приводу прокатних клітей.

5. Впровадження для оцінювання динаміки два нових показники: від'ємний коефіцієнт динамічності ділянки лінії приводу та коефіцієнт динамічності підшипникової опори.

Розроблені та запропоновані способи діагностування технічного стану обладнання ліній приводу прокатних станів та зменшення динамічних навантажень у лініях приводу прокатних клітей рекомендовані до реалізації на металургійних підприємствах, що підтверджується технічним висновком ПАТ «Запоріжсталь» та актом використання ТОВ «Металтехномаш», та захищені патентами України. Вони дозволяють збільшити ресурс прокатного обладнання та зменшити кількість його раптових відмов.

Вважаю, що отримані в роботі практичні рекомендації з діагностування технічного стану, визначення та зменшення динамічних навантажень мають перспективу подальшого використання на виробництві, що пов'язано з необхідністю продовження експлуатації прокатного обладнання та мають значний економічний сенс.

#### **5. Повнота відображення наукових положень в опублікованих роботах**

Основний зміст дисертації викладено у 31 наукових працях, в тому числі: 19 статтях у наукових фахових виданнях, затверджених ДАК МОН України, 3 з яких опубліковані у виданнях, що індексуються у міжнародних науково-метричних базах Scopus; 9 статей у наукових фахових виданнях, 7 статей у наукових періодичних виданнях; 9 тез доповідей на наукових конференціях, 3 патента України.

В працях, які опубліковано у співавторстві, коректно відображено особистий внесок дисертанта, а також забезпечені посилання на публікації інших авторів.

На підставі аналізу публікацій, вважаю, що наукові положення, висновки і рекомендації, які отримані в дисертаційній роботі, є результатом самостійних досліджень здобувача та повністю висвітлені в наукових працях.

## **6. Оцінка змісту дисертації**

Автором сформульована мета і задачі дисертаційного дослідження, які обумовлені необхідністю наукового обґрунтування та удосконалення технічного обслуговування та продовження строку експлуатації прокатного обладнання. Це досягається розробкою способів визначення технічного стану та зменшенням динамічних навантажень у лініях приводу прокатних клітей

По композиційній побудові робота представляє цільне дослідження в якому задачі вирішуються в логічній послідовності починаючи від аналізу теоретичних основ дослідження динамічної навантаженості; розробки методики та проведення промислових досліджень динамічних навантажень широкосмугового стану 1680; моделюванню динамічних процесів лінії приводу прокатного стану; розробки способів визначення технічного стану лінії приводу прокатних клітей; розробки способів зменшення впливу існуючих кутових та радіальних зазорів на величину максимальних динамічних навантажень у лініях приводу прокатних клітей під час захвату штаби прокатними валками.

У розділі 1 розглянути теоретичні та практичні основи дослідження динамічних процесів в обладнанні прокатних станів.

Виконано збір та обробку даних про відмови та виходу з ладу обладнання ряду широкоштабових станів гарячої прокатки: стану 1700 Карагандинського металургійного комбінату, Казахстан; стану 1700 Маріупольського металургійного комбінату; стану 1680 Запорізького металургійного комбінату. Визначено, що основними видами є поломки зубчастих зчеплень редукторів і муфт, поломки робочих валків по їх шийках і лопаті шпинделів, а також вихід з ладу підшипникових опор, зокрема підшипників кочення.

Наведено способи діагностування технічного стану лінії приводу прокатних клітей. Автором доведена доцільність удосконалення способів діагностування технічного стану лінії приводу прокатних клітей, відповідно до існуючих умов виробництва, ступеня автоматизації та оснащеності контрольно-вимірювальними системи діючих прокатних станів

В умовах сучасного виробництва, при підвищенні швидкостей прокатки, збільшенні маси та вхідної товщини штаби, зменшенні товщини готових рулонів, зменшенні енергетичних витрат за рахунок зниження температури нагріву слябів, впровадженні прокату сталей, що важко піддаються пластичній деформації, збільшуються ударні навантаження. Тому широкоштабові стани гарячої прокатки є одними з найбільш навантажених прокатних станів. З огляду на це автором розглянуто способи зменшення динамічних навантажень та намічено шляхи їх удосконалення.

У розділі 2 наведено методику та обладнання проведених промислових досліджень динамічних та вібраційних процесів на стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь».

Автором встановлено характерну ознаку, між перехідними процесами при захваті розкату валками на моменті сил пружності на моторній ділянці та віброшвидкістю підшипникових опор редуктора. Нею є інтервал часу між двом

першими піками перехідного процесу. Цей інтервал пропонується розглядати, як діагностичний параметр.

Здобувачем розроблено методикау апроксимації сигналу перехідного процесу сумою тригонометричних та експонентних функцій. Це дозволить визначати першу та другу власні частоти лінії приводу, а також рівень статичного моменту та інтенсивність його наростання.

**Розділі 3** присвячено математичному моделюванню перехідних процесів в лініях приводу прокатних станів.

Автором розроблено трьох-масову математична модель перехідних процесів у лінії приводу прокатних валків кліті 5 та 6 стану 1680. Результати розрахованих параметрів динамічних процесів та отриманих експериментальним шляхом мають високий ступінь збіжності.

Здобувачем запропоновано новий показник динаміки ділянок лінії приводу – від’ємний коефіцієнт динамічності, який дорівнює відношенню максимального значення зусилля при зворотному закрученні до сталої величини зусилля, взятого за модулем та новий показник динамічної навантаженості підшипникової опори – коефіцієнт динамічності підшипникової опори, який дорівнює відношенню максимальної величини до сталої величини пружного зусилля у підшипникової опори.

Розглянуто наступні діагностичні ознаки: інтервал часу між першими двома піками моменту сил пружності та розмах переміщення осей зубчатих коліс редуктора і шестеренної кліті у горизонтальній та вертикальній площині. Доведено, що перша є ознакою величини кутового зазору у моторній муфті та зубчастому зчепленні редуктора, а друга є ознакою радіального зазору у підшипникової опори.

**У розділі 4** присвячений розробці способів визначення технічного стану лінії приводу прокатних клітей.

Автором запропоновані наступні нові показники для оцінки технічного стану лінії приводу: кут нахилу апроксимуючих прямих та коефіцієнт пропорційності статистичної залежності максимального динамічного моменту від статичного моменту прокатки; швидкість розповсюдження деформаційної хвилі поряд з часом запізнення реакції ділянок лінії приводу; показник відносного зменшення періоду коливань перехідного процесу електромагнітного моменту двигуна; застосування одночасної прокатки штаби у двох клітях, що дає можливість швидше визначити технічний стан ділянок лінії приводу та його зміну в процесі експлуатації прокатного стану при істотному зменшенні кількості вимірювань; використання сигналів датчиків обертання деталей, що дає можливість визначити відносні фази знаходження сусідніх елементів при обертанні в робочому та протилежному напрямку та обчислити величину кутового зазору в цьому з’єднанні лінії приводу прокатної кліті.

**Розділ 5** присвячено розробці способів зменшення впливу існуючих кутових та радіальних зазорів на величину максимальних динамічних навантажень у лініях приводу прокатних клітей під час захвату штаби прокатними валками. Розглядається чотири способи: короткочасного підйому та опускання верхньої опорного валка, що призводить до зменшення динамічної складової навантаження у 1,5-2,0 рази; згинання передньої частини штаби у жолоб та її розгинання, що

призводить до зменшення динамічної складової навантаження у 1,4-1,9 рази; формування трапецієвидної передньої частини штаби, що призводить до зменшення динамічної складової навантаження у 1,55-2,5 рази; встановлення двигуна постійного струму і з'єднання його з шестеренною кліттю валом підвищеної довжини, що призводить до зменшення динамічної складової навантаження у 1,9-2,1 рази.

#### **7. При знайомстві з дисертацією і авторефератом виник ряд зауважень:**

1. Автором в тексті дисертаційної роботи застосовується словосполучення «осі зубчастих коліс». Коректніше буде застосування словосполучення «вали зубчастих коліс».

2. В розділі 2 на стор. 59 на рис. 2.2.1 та 2.2.2, не зрозумілі одиниці виміру моменту сил пружності.

3. Не достатньо пояснень до графіків на стор. 70 рис. 2.4.1, як на самому зображенні, так і в тексті.

4. Автором справедливо вказано на вплив перехідних процесів на знос елементів лінії приводу досліджуваного стану 1680. Як саме ці динамічні процеси впливають на швидкість зносу деталей, тобто як змінюється величина зносу в пліні часу експлуатації деталі?

5. В третьому розділі автором застосовано показником діагностування зносу пересування підшипникових опор та валів редуктора. Як пов'язані величина зносу та величина пересування опор та валів.

6. В четвертому розділі автором запропоновані способи встановлення загального технічного стану обладнання лінії приводу прокатної кліті. Чи є якісь з них впровадженими? Не зрозуміла їх порівняна дієвість і об'єктивність оцінки технічного стану.

7. Вважаю за доцільне побудову залежності величини збільшення ресурсу обладнання від величини динамічних навантажень, при впровадженні запропонованих способів їх зменшення для оцінки їх дієвості.

8. На мій погляд, роботі недостає підрозділу, в якому було б наведено алгоритм використання діагностичних параметрів технічного стану прокатного обладнання для спеціалістів-експлуатаційників.

9. В п'ятому розділі автором запропоновані рішення щодо зменшення динамічних навантажень, які збільшують ресурс обладнання прокатного стану. На скільки збільшився строк служби елементів лінії приводу прокатного стану – підшипників, зубчастих коліс, валів, муфт і т. д.?

10. У п'ятому розділі наведено декілька розроблених способів зменшення впливу існуючих кутових та радіальних зазорів на величину максимальних динамічних навантажень у лініях приводу прокатних клітей під час захвату штаби прокатними валками. Серед яких задавання у чистову групу клітей штаби, яка має трапецеподібну передню частину. Яким чином це реалізується в лінії прокатного стану 1680?

Наведені зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи та можуть бути враховані в подальших дослідженнях.

#### **8. Висновок про відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам**

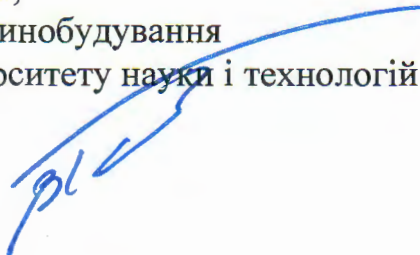
В цілому дисертаційна робота Коренного В. В. на тему «Розробка способів діагностування технічного стану ліній приводу валків прокатних клітей» є завершеним науковим дослідженням, має наукову новизну та практичні результати, що вирішують науково-технічну задачу розробки способів діагностування технічного стану ліній приводу валків прокатних клітей на прикладі широкоштабового стану 1680, що в кінцевому результаті забезпечує зменшення динамічних навантажень в елементах головної лінії прокатного стану та, відповідно, збільшенню ресурсу прокатного обладнання.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог ДАК Міністерства освіти і науки України, викладена технічно грамотною мовою з використанням сучасної термінології. Автореферат дисертації (обсягом 33 сторінки) відображає зміст дисертації, отримані наукові результати та висновки.

Вважаю, що рецензована дисертаційна робота за своєю значимістю, новизною, обґрунтованістю теоретичних та практичних результатів, кількістю публікацій відповідає вимогам ДАК Міністерства освіти і науки України, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук (п. 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету міністрів України №567 від 24.07.2013 року зі змінами), а її автор **КОРЕННИЙ Володимир Віталійович** заслуговує на присвоєння йому наукового ступеня кандидата технічних наук.

**Офіційний опонент:**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри галузевого машинобудування  
Українського державного університету науки і технологій



ГАНУШ В. І.

Підпис Гануша В. І. засвідчую.

Начальник відділу кадрів  
Українського державного університету науки і технологій



ШМАКОВА Л. І.