

## ВІДГУК

офіційного опонента **про дисертаційну роботу Гречаного Олексія Миколайовича**

"Удосконалення моделей надійності елементів механічних систем при їх комплексному пошкодженні на прикладі ресурсу прокатних валків і їх приводу",  
представлену до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у галузі  
знань «Механічна інженерія» (код 13) за спеціальністю 133 – «Галузеве  
машинобудування»

Відомо, що металургія України представляє одну з базових і стратегічно важливих галузей її народного господарства, приносячи значний відсоток промислового виробництва держави та валютних надходжень в Україну. Все це забезпечується металургійним комплексом, який включає підприємства з видобутку та збагачення руд металів, виробництва чавуну, сталі, прокату та іншої металевої продукції. Як ніяка інша галузь виробництва, металургійний комплекс містить у собі металомістке обладнання з складними режимами температурно-силового навантаження. Дійсний стан складного експлуатаційного пошкодження обладнання протягом тривалої експлуатації та можливість його подальшої безпечної експлуатації необхідно оцінювати на основі розвитку сучасних підходів до трактовки накладення різних механізмів пошкодження та обґрунтування науково-технічної бази методів оцінки та моніторингу технічного стану обладнання. Така оцінка має включати вірогідні характеристики можливих відмов з метою передбачення та усунення значних експлуатаційних простоїв, які завдають втрат українській економіці. Сучасні тенденції у розробці моделей надійності механічних систем демонструють перехід від їх оцінки в цілому до індивідуальних показників окремих елементів, які характеризують систему після їх об'єднання за обґрунтованими алгоритмами.

Вважаючи, що тематика дисертаційної роботи О.М. Гречаного присвячена рішенням саме таких питань, **відзначимо сучасність та актуальність проблеми, яка досліджується у роботі.**

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Виконані у дисертаційній роботі дослідження можна віднести до одного з пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки, відзначеному у відповідному Законі України і пов'язаному з розвитком науково-технічного потенціалу країни. На кафедрі «Машини і агрегати металургійного виробництва» Національної металургійної академії України цей

напрямок реалізується виконанням тематики «Технічне обслуговування та діагностування механічних систем за контролем їх безпеки та ризику», у рамках якої виконувалися бюджетні науково-дослідні роботи та одержані основні результати досліджень дисертанта.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертації.** Правомірність основних наукових і практичних результатів, представлених в дисертації О.М.Гречаного, підкріплена переконливими розрахунками та експериментальними даними, які одержані за відомими та розробленими методиками досліджень, використанням фундаментальних закономірностей теорії вірогідності, математичної статистики, методів ризик-аналізу, накопичення експлуатаційних пошкоджень матеріалів за дії чинників різної природи, теорій технічного обслуговування та надійності складних технічних систем, принципів формування граничного стану матеріалів за умов накладення дії різних механізмів пошкодження.

Зроблені в роботі висновки та рекомендації витікають з логічного аналізу одержаних розрахунково-аналітичних рішень та результатів експериментальних досліджень.

**Достовірність результатів** досліджень забезпечується їх відповідністю відомим результатом і установленим закономірностям, а також ретельно виконаними таруваннями при проведенні експериментів. Також достовірність одержаних результатів підтверджується коректністю побудови розроблених моделей, доцільністю використання положень базових фундаментальних наук, сходимістю розрахунково-аналітичних результатів з експериментальними та експлуатаційними даними, широкою апробацією результатів досліджень.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Виконаний в дисертаційній роботі О.М.Гречаного комплекс експериментальних, теоретичних і розрахункових досліджень та їх трактування дозволяє сформулювати наступний **основний новий науковий результат роботи**: виконано розвиток теорії і практики надійності механічних систем на основі структурного підходу з побудовою імовірнісно-фізичних моделей для оцінки технічного стану і ресурсу листопркатних валків та елементів їхнього приводу за дії різних механізмів експлуатаційних пошкоджень. Для одержання цього результату вирішено кілька нових задач, а саме:

- запропоновано нове правило об'єднання індивідуальних показників надійності елементів системи в показник надійності всієї системи з застосуванням показника ризику та обґрунтуванням використання розподілу Ліндлі; встановлене правило дозволяє визначати рівень експлуатаційного пошкодження системи з відомим рівнем вірогідності для прийняття рішень про економічно обґрунтоване технічне обслуговування;

- розроблена схема перехідних процесів і послідовності руйнування прокатних валків за механізмами росту тріщини відривом, поперечним зсувом та антиплоскою деформацією, а також схематизація кінетичних діаграм руйнування за цими механізмами для визначення довговічності валків за змінних умов пошкодження матеріалу;

- розроблено алгоритми визначення функцій розподілу ресурсу, необхідних при прогнозуванні надійності механічних систем, для однорежимних та багаторежимних процесів зносу за умов їх моделювання параметричними моделями;

- розроблена математична модель зношування вкладишів універсальних шпінделів приводу валків прокатного стану на різних етапах експлуатаційного циклу.

**Практичне значення результатів дослідження.** В додатку дисертації Г наведена копія акту впровадження результатів дослідження у цеху гарячої прокатки тонкого листа ПАТ "Запоріжсталь". Результати використані для діагностування технічного стану і залишкового ресурсу вкладишів універсальних шпінделів прокатних станів на основі використання статистичної інформації по відмовам для розробки математичної моделі пошкодження вкладишів, яка дає можливість з надійністю 95 % прогнозувати їх напрацювання до моменту початку ремонтних робіт.

**Шляхи використання результатів досліджень.** Подібно до впроваджені дисертантом моделі вірогідного прогнозування граничних пошкоджень відповідальних елементів механічних систем для своєчасного виконання профілактичних чи ремонтних робіт для запобігання їх масштабних руйнувань, подібні моделі можуть бути побудовані і використані у конструкціях різного призначення з метою підвищення їх економічних показників.

**Повнота висвітлених наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.** Основні наукові результати дисертаційної роботи, які представлені до захисту, доповідалися на багатьох авторитетних конференціях та

достатньо повно висвітлені у публікаціях: всього опублікованих робіт – 22, з яких 12 статей - у фахових виданнях (включаючи проіндексовані у міжнародних науково-метричних базах Scopus – 2, Web of Science -1, Index Copernicus, Google Scholar – 4), 1 - патент України на корисну модель, 9 - матеріали та тези доповідей конференцій.

**Про зміст роботи.** Дисертаційна робота викладена на 180 сторінках, включаючи 54 рисунка, 16 таблиць, списку використаних джерел з 146 найменувань, загальних висновків, додатків А, Б, В, Г. Загальна характеристика виконаного дослідження наведена у вступі, зміст дисертації викладено у чотирьох розділах.

**У першому розділі** огляд і аналіз літературних джерел, присвячених моделям розподілу довговічності механічних систем та правилам об'єднання індивідуальних показників надійності їх складових в надійність всієї системи, суміщається з пошуком прийнятних залежностей для визначення обґрунтованих рівнів надійності з забезпеченням економного моніторингу стану системи. Проаналізовано функції розподілу довговічності, які найбільш часто вживаються у практиці і дослідженнях, та досліджено вплив типу цих функцій на функцію надійності елементів і системи елементів. Зроблено висновок про їх неадекватне відображення впливу експлуатаційного навантаження на функцію надійності.

Показано також, що об'єднання індивідуальних імовірностей безвідмовної роботи окремих елементів системи в спільну з використанням правила множення також є несприйнятливим у зв'язку зі значним падінням надійності системи у порівнянні з надійністю окремих її елементів.

Для усунення зазначених недоліків запропоновано використати одну з модифікацій функції надійності на основі розподілу Ліндлі та правило об'єднання ресурсних індексів безпеки.

Представлено практичне застосування запропонованого підходу для оцінки гарантованого ресурсу кріпильних болтів головки аварійної доменної печі за вихідними даними, взятими з літературних джерел.

**У другому розділі** дисертації вирішується проблема прогнозування роботоздатності листопрокатних валків на основі виконаних експериментальних досліджень зміни механізмів руйнування брусів прямокутної форми при варіюванні співвідношення нормальних і дотичних напружень. Встановлені основні силові

чинники, які діють на валки у процесі прокату і формують складний напружений стан металу за дії нормальних і дотичних напружень.

Для досліджених сталей розроблені спрощені кінетичні діаграми втомного руйнування. Приймається, що руйнування валків викликано глобулярними неметалічними мікровключеннями від яких розвивається кругова тріщина. Прийняті припущення і одержані результати дозволили діагностувати довговічність валків безперервного товстолистого стану гарячої прокатки 1680.

**Третій розділ** містить експериментальні дослідження процесів змішаного руйнування і визначення показників опору циклічному руйнуванню валкових сталей 9ХС і Х12Ф1. Випробування при поперечному зсуві виконані на призматичних зразках з надрізом за схемою чотирьохточкового асиметричного згину та зразках без надрізу в умовах триточкового вигину. Одержані види руйнувань зразків за різними траєкторіями росту тріщини трактуються з точки зору вкладу різних мод руйнування.

Для визначення тривалості стадії живучості шляхом інтегрування кінетичної даграми росту тріщини запропонована об'єднуюча функція спільного урахування геометричного чинника і розміру тріщини.

За наявності процесу руйнування за змішаними модами, як це відбувається у прокатних валках, живучість пропонується визначати об'єднанням окремих процесів руйнування.

**У четвертому розділі** розглянуто застосування встановленого у першому розділі правила об'єднання показників надійності у вигляді ресурсного індексу безпеки для плануванні операцій діагностування елементів обладнання за наявності деградаційних процесів зношування, що потребує встановлення функції розподілу довговічностей.

Наведена розробка математичної моделі зношування вкладишів у конструкції приводу валків прокатного стану, яка використана для визначення графіку технічного обслуговування об'єкту на стадіях експлуатаційного сталого та катастрофічного процесів пошкодження.

**Висновки містять** основні результати дисертаційного дослідження і витікають з одержаних та проаналізованих даних досліджень.

**Зауваження по суті виконаних досліджень.**

1. В літературних джерелах, включаючи наведені в дисертації, показано зародження на поверхні валків гарячої прокатки сітки глибоких тріщин, обумовлених термоциклюванням. Цей чинник, як і температура, ігнорується в роботі, хоч значно впливає на напружено-деформований стан матеріалу валка. Крім того, механічні властивості матеріалу валка суттєво змінюються від його поверхні до центру.

2. Також відомим для дослідників є факт, що перехід від руйнування по  $K_{II}$  до  $K_I$  обумовлений тертям берегів тріщини, чого можна уникнути накладенням статичного розтягу чи уточнити чисельним розрахунком. За наявності двох тріщин також необхідно враховували зміну податливості зразка. Ці чинники також не беруться до уваги дисертантом.

3. Про зміну механізму руйнування матеріалу можна судити за прискіпливим аналізом зміни морфології поверхності руйнування. Дисертант виконує це лише за феноменологічним аналізом просування тріщини за різними напрямками.

4. В роботі підкреслюється важливість розробки імовірно-фізичних моделей, в яких враховується розкид як діючих на конструкцію термосилових чинників, так і властивостей матеріалу. В той же час пропонуються спрощені схеми описання швидкості росту тріщини, хоч розкид даних по тріщиностійкості матеріалу вище, ніж у класичній багатоцикловій втомі. Також кінетичні діаграми втомного руйнування за змішаних мод і за окремими модами різняться між собою.

5. Застосування параметрів лінійно-пружної механіки руйнування для опису кінетики розвитку тріщин втомі для зразків вибраного розміру потребує обґрунтування, враховуючи той факт що умови застосування лінійної механіки руйнування за змішаних мод жорсткіші.

6. Для коефіцієнтів інтенсивності напружень в випробуваних зразках дисертант використовує композиції відомих рішень, які отримано за різних умов деформування. Більш надійні рішення необхідно одержувати за фактичним напружено-деформованим стану, що відсутнє у роботі.

### **Щодо оформлення та викладу матеріалу.**

1. По тексту дисертації спостерігаються граматичні неточності: *заносних* деградаційних процесів (ст. 25), *перетин* замість переріз – по всьому тексту, *прагне* до 0 (ст. 33), *розрахункових метод* (ст. 37), показників *ушкодженого процесу* (ст. 45) показник *ступені* (ст. 86).

2. У кожному розділі наводиться значний обсяг оглядового матеріалу та твердження з невідомим авторством, занадто широкі висновки по розділам.

3. Очевидно, розділ 3 має передувати розділу 2.

4. Велика кількість абревіатур не зведених у список і англійських перекладів фраз без необхідності утруднюють читання тексту.

Зроблені зауваження по суті досліджень свідчать про складність проблеми, яка вирішується, і на даний момент потребує подальших розробок.

**Загальний висновок по дисертації.** В цілому ж дисертаційна робота О.М.Гречаного є завершеною, цілісною науковою розробкою, яка присвячена актуальній проблемі металургії та має наукове і прикладне значення. В ній отримані нові теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності дозволяють вирішити важливу задачу – зменшення витрат на технічне обслуговування і ремонт листопрокатного устаткування шляхом розрахункового імовірносного прогнозування рівня пошкодження вузлів за дії складного експлуатаційного навантаження

За об'єктом і предметом дослідження, характером вирішених задач і отриманими результатами дисертаційна робота відповідає паспортам спеціальностей, які об'єднані у спеціальності 133 - «Галузеве машинобудування».

За науковим рівнем, новизною одержаних результатів, їх теоретичній і практичній значимості та обсягом виконаних досліджень, результатами апробації та публікаціями дисертаційна робота відповідає вимогам пункту 8 «Положення про порядок присудження наукових ступенів», а її автор Гречаний Олексій Миколайович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 - «Галузеве машинобудування».

Офіційний опонент:

Завідуючий відділом «Втома і термовтома матеріалів»

Інституту проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАНУ

доктор технічних наук



Г.В. Цибаньов

**Підпис** завідуючого відділом «Втома і термовтома матеріалів» Інституту проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, доктора технічних наук Г.В. Цибаньова **засвідчую:**

Учений секретар Інституту проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України,  
кандидат технічних наук



В.І. Скрипченко