

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу **ГАНУША Василя Івановича**  
«Оцінка технічного стану базових конструкцій пресо-прокатного устаткування  
після довготривалої експлуатації»,  
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**

Сучасні діючі металургійні виробництва мають в технологічних лініях різноманітне устаткування, базові конструкції яких мають багаторічний термін експлуатації. При цьому є стала тенденція до збільшення строків понаднормованої експлуатації основного технологічного устаткування, що спостерігається на підприємствах України, зокрема при виробництві гарячекатаних труб та залізничних коліс. Подовження строків експлуатації базових конструкцій дає можливість зменшити питомі витрати на оновлення устаткування та знизити собівартість продукції.

Масивні базові конструкції пресо-прокатного устаткування при довготривалій експлуатації працюють в умовах складних нестаціонарних режимах навантажень та пошкодження від втоми та деградації матеріалу, зносу, корозії, тому дослідження по оцінці їх технічного стану з метою визначення залишкового ресурсу та подовження строку їх безаварійної експлуатації 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 118 найменувань джерел з урахуванням 19 публікацій автора, у яких відображені різні аспекти проблематики обраної теми.

Отримані результати, висновки і рекомендації базуються на фундаментальних закономірностях і аналітичних методах математичної статистики, ризик-аналізу, теорії технічного обслуговування, теорії надійності складних технічних систем.

Обґрунтованість математичних моделей опору втомі, руйнуванню і зносу базується на сходимості результатів лабораторних і промислових досліджень з прогнозними розрахунками. Моделювання напружено-деформованого стану елементів базових конструкцій пресо-прокатного устаткування загально визнаним методом скінчених елементів (МСЕ) підтверджено результатами експериментальних вимірів напружень методом тензометрії в контрольних точках на діючих об'єктах.

Достовірність наукових результатів та висновків підтверджується коректністю постановки задач на підставі всебічного аналізу та узгодженості вихідних даних, застосуванням апробованих теоретичних методів з урахуванням загальноприйнятих чи обґрунтованих припущень.

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. Набув подальший розвиток принцип знаходження ймовірностей відмови і безвідмовності шляхом порівняння функцій розподілу довговічності і наробітку, що у поєднанні з використанням комплексного діагностичного показника – ресурсного індексу безпеки, призводить до більш консервативної форми статистичного запасу, аніж його традиційна форма, при цьому запропонований зв'язок між двома формами статистичного запасу здійснювати через коригувальну функцію.

2. На підставі правила об'єднання ресурсних індексів безпеки розроблена модель довговічності багатовісної втоми з урахуванням коефіцієнтів обтяження для комбінованої дії дотичних і нормальних напружень; встановлений взаємозв'язок між накопиченим пошкодженням і коефіцієнтом обтяження, а також відношення межі втоми для дотичних напружень і нормальних напружень згину для конструкційних сталей.

3. Встановлено, що функція ризику станин на стадії зародження тріщини може бути представлена лінійною залежністю, прямопропорційною до наробітку. Запропоновано для оцінки технічного стану станин ТПА 350 застосувати функцію ризику, причому процес втрати несучої здатності станин представити декількома стадіями, при яких збільшення ризику відбувається з різною інтенсивністю.

4. Розроблена модель гарантованого ресурсу колон важких гідравлічних пресів, яка враховує нестационарність процесу штампування, варіації коефіцієнтів нерівномірності навантаження колон, зусилля зтягання різьби, її границю витривалості та визначено основні умови навантаження та напруження в різьбовому з'єднанні колон, що впливають на безпечний довготривалий строк експлуатації колон.

Вважаю важливим новим науковим результатом роботи встановлення зв'язку між довговічністю багатовісної втоми, функції розподілу довговічності і наробітку та комплексним діагностичним показником – ресурсним індексом безпеки, що надає можливість дослідити та оцінити технічний стан базових конструкцій пресо-прокатного устаткування після довготривалої експлуатації та визначити їх залишковий ресурс.

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

Наукове значення результатів досліджень складається в розробці концепції допустимого ризику і індексу безпеки для оцінки технічного стану базових конструкцій, методів визначення залишкового ресурсу базових конструкцій пресо-прокатного устаткування за умов багатоджерельного пошкодження та прогнозування довговічності при багатовісній втомі в умовах довготривалої експлуатації.

Важливим для науки і практики є дослідження залишкового ресурсу станин робочих клітей трубопрокатного агрегату 350, а також колон станини пресу зусиллям 100 МН з розробкою рекомендації з термінів діагностування їх технічного стану та контролю їх пошкоджень, а також розроблені автором методики

випробувань для визначення первісних даних для моделі багатовісної втоми, яка придатна для звичайних випробувальних машин і зразків простої форми та алгоритми оцінки довговічності при комбінованому навантаженні.

Значення практичних результатів дисертації підтверджується довідкою від ПП «Восток-Плюс» про використання результатів дисертації при оцінці ризику розвитку тріщин і руйнування станин прошивного і автоматичного станів ТПА 350 після довготривалої експлуатації, а також актом використання в навчальному процесі Українського державного університету науки і технології. На практичну спрямованість дисертації також вказує отримання 2 патентів України на корисну модель робочої кліті прошивного стану.

Вважаю, що отримані в роботі практичні рекомендації з діагностування технічного стану та визначення залишкового ресурсу станин робочих клітей трубопрокатного агрегату 350, а також колон станини пресу зусиллям 100 МН мають перспективу подальшого використання на виробництві, що пов'язано з необхідністю продовження експлуатації цих базових конструкцій та має значний економічний сенс.

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

Основний зміст дисертації викладено у 19 наукових працях, в тому числі: 10 статтях у наукових фахових виданнях, затверджених ДАК МОН України, 5 з яких опубліковані у виданнях, що індексуються у міжнародних науково-метричних базах Scopus і Index Copernicus; 6 матеріалів праць і тез науково-технічних конференцій, в 2 патентах на корисну модель України, 1 монографії. 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 базових елементів механічних систем, які потерпають від комбінації пошкоджуючих процесів, що досягається шляхом розробки діагностичних моделей, які враховують комбінований характер нестационарного навантаження конструкцій, на прикладі станин робочих клітей трубопрокатних станів і гідравлічних пресів.

По композиційній побудові робота представляє цільне дослідження в якому задачі вирішуються в логічній послідовності починаючи від аналізу теоретичних основ оцінки технічного стану базових конструкцій за допомогою ресурсного індексу безпеки; розробки моделі втомної довговічності при комплексному навантаженні на підставі об'єднання індексів безпеки; результатів досліджень напруженого стану та оцінки залишкового ресурсу станин робочих клітей автомат-стану та прошивного стану трубопрокатного агрегату 350; оцінки технічного стану станини та прогнозування ресурсу колон пресу зусиллям 100 МН для виробництва залізничних коліс; розробки практичних рекомендації та технічних рішень.

**У розділі 1** розглянути теоретичні основи оцінки технічного стану базових конструкцій механічного устаткування за допомогою ресурсного індексу безпеки.

Серед базових конструкцій пресо-прокатного обладнання, на підставі аналізу досліджень, здобувачем обрані станини робочих клітей та рамні станини гідравлічних пресів, які є відповідальними за ресурс об'єкта та його безпеку і відмови яких призводять до максимальних збитків.

Автором доведена доцільність збільшення нормативних термінів експлуатації пресо-прокатного устаткування, що актуалізує процедуру знаходження залишкового ресурсу базових елементів конструкції. Розглянути причини, які ускладнюють оцінку залишкового ресурсу базових конструкцій.

Розглянута концепція допустимого ризику і індексу безпеки при оцінці технічного стану базових конструкцій та обґрунтовано поставлений ряд задач пов'язаних з показниками надійності і безпеки механічних силових систем, а також процесами комбінованого навантаження.

Здобувач приходять до аргументованих висновків, що довготривала експлуатація висуває додаткові вимоги при оцінці можливості подальшої експлуатації. Це пов'язано з мірою деградації властивостей матеріалу, потрапляння конструкції в зону багатоциклової втоми, багатоджерельності пошкоджень, з послідовним чергуванням стадій втрати несучої здатності.

Автор вказує на доцільність застосування принципу знаходження ймовірностей відмови і безвідмовності шляхом порівняння функцій розподілу довговічності і наробітку в поєднанні з комплексним діагностичним показником – ресурсним індексом безпеки. При цьому запропоновано концепцію підвищення надійності за рахунок трансформації відмов раптового типу в поступові на підставі ресурсної інтерпретації появи перевантажень та визначення поточного значення індексу безпеки при одноразовому руйнуванні.

Здобувач визначає безпеку базових конструкцій за умов багатоджерельного пошкодження під дію понадрозрахункового напруження, що адекватно відповідає умовам навантаження базових конструкцій пресо-прокатного устаткування.

**У розділі 2** підтверджена можливість прогнозувати довговічність при багатовісній втомі на основі правила об'єднання ресурсних індексів безпеки. Здобувачем розглядається комбіноване навантаження як композиція окремих простих процесів циклічного деформування зі своїми параметрами, що дає змогу використовувати характеристики опору втомі для простих типів деформування та можливість оцінювати ресурс для будь-якого рівня надійності.

Автором знайдено пояснення поведінки матеріалів при поперечному згині в умовах зміни коефіцієнта плеча, де опір багатовісній втомі контролюється критеріями на підставі дотичних напружень. Підтверджена можливість отримання параметрів моделі багатовісної втоми при випробуваннях на триточковий згин за умов варіювання кратності зразка. Встановлені обмеження моделі багатовісної втоми.

Здобувачем розроблено методику випробувань для визначення первісних даних для моделі багатовісної втоми при комбінованому навантаженні, яка придатна для звичайних випробувальних машин і зразків простої форми, що **представляє практичний результат даної роботи.**

Автор вказує на доцільність і ефективність застосування критерія дотичних напружень і деформацій для прогнозування довговічності при багатовісній втомі та

обмеження використання еквівалентування за Мізесом в програмах МСЕ при прогнозуванні ресурсу на стадіях зародження та зростання тріщини.

На підставі правила об'єднання ресурсних індексів безпеки здобувачем розроблена модель довговічності багатовісної втоми в межах якої отримані коефіцієнти обтяження для комбінованої дії дотичних і нормальних напружень. Встановлено взаємозв'язок між накопиченим пошкодженням і коефіцієнтом обтяження. Для конструкційних сталей встановлено відношення межі втоми для дотичних напружень і для нормальних напружень згину, яке дорівнює 0,385, що є **науковою новизною даної роботи.**

**У розділі 3** розглянута оцінка залишкового ресурсу станин робочих клітей трубопрокатного агрегату 350: автомат-стану та прошивного стану.

Наведені результати інструментального обстеження станини автомат-стану з встановленням місць тріщиноутворення, які обумовлені технологічними зусиллями з боку трубної гільзи і схемою деформування станини. Для станини автомат-стану на підставі схематизації циклічного процесу навантаження отримані його амплітудно-частотні параметри.

Автором встановлені конструктивні недоліки робочих клітей в системі закріплення і фіксації станин, які впливають на погіршення технічного стану, втрату просторової орієнтації клітей, збільшують динамічні навантаження, що в купі веде до зменшення надійності, збільшення напружень в окремих несприятливих місцях станини.

На підставі досліджень напружено-деформованого стану станин і фактичного плану виробництва труб за сортаментом для кожної станини сформовано дворівневий блок навантаження та з'ясовано, що збільшення границі витривалості веде до відчутного зростання довговічності елементів станини.

Здобувачем розроблена модель опору втомі і руйнуванню пошкодженого матеріалу, де враховано експлуатаційне окрихчення металу, характерне для прокатного устаткування, на підставі якої підтверджується прогнозована довговічність і періодичність повторних появ тріщин в небезпечних місцях станин.

Для оцінки технічного стану станин на стадії зародження тріщини автором запропоновано використовувати функцію ризику, яка може бути представлена лінійною залежністю, прямопропорційною до наробітку, при цьому процес втрати несучої здатності станин може бути представлений декількома стадіями, при яких збільшення ризику відбувається з різною інтенсивністю, що **вважаю важливим пунктом наукової новизни роботи.**

Автор робить обґрунтований висновок, що станини прошивного та автомат станів працюють у зоні повного ризику, що супроводжується тріщиноутворенням. В якості діагностичного критерія здобувач пропонує використовувати сферичний дефект, який з'являється в напружених зонах станин.

Для продовження ресурсу станини робочої клітей прошивного стану здобувачем запропоновані технічні рішення по її реконструкції та рекомендації з термінів діагностування технічного стану та трубного сортаменту для забезпечення довговічності, це є важливим **практичним результатом даної роботи.**

**У розділі 4** проведена оцінка технічного стану станин важких гідравлічних пресів для виробництва залізничних коліс та зроблені висновки про актуальність

досліджень міцності і надійності базових конструкцій у зв'язку з необхідністю продовження ресурсу пресів після їхньої довготривалої експлуатації.

Автором встановлено, що одними з найбільш небезпечних елементів станини преса є колони, які на ділянці різьбового з'єднання найбільш вразливі до виникнення втомних пошкоджень.

Здобувачем розроблена методика експериментального визначення зусилля штампування на гідравлічних пресах шляхом тензометрування колон та отримані експериментальні дані вимірювання навантаженості станини пресу 100 МН.

На підставі результатів експериментальних досліджень, автор виконав схематизацію навантаження колон станини преса 100 МН з урахуванням варіації зусилля пресування, нерівномірності навантаження колон і частка виробництва коліс великого діаметру у вигляді типового режиму з 4-х рівнів.

Здобувачем сформовано модель гарантованого ресурсу колон важких гідравлічних пресів, яка враховує нестационарність процесу штампування, варіації коефіцієнтів нерівномірності навантаження колон, зусилля затягання різьби, її границю витривалості, що є **науковою новизною даної роботи**.

Автор встановлює певні умови безпечного довготривалого строку експлуатації колон пресу 100 МН: неперевищення коефіцієнту нерівномірності навантаження понад 15%, наближення границі витривалості в зоні різьби до 30 МПа, що є важливим **практичним результатом даної роботи**.

Розроблена здобувачем модель гарантованого ресурсу дозволяє визначити вплив програми виробництва та сортаменту на надійність преса, зокрема ресурс колон. При цьому важливим фактором збільшення гарантованого ресурсу колон автор також вважає спосіб та зусилля затягування різьбових з'єднань.

Здобувач акцентує увагу на питанні необмеженого ресурсу колон і вважає, що навіть 5-6-річний термін експлуатації не може бути гарантованим без застосування певної стратегії контролю пошкоджень, що є важливим висновком.

Вважаю, що отримані практичні рекомендації стосовно програми виробництва по сортаменту продукції, конструктивних особливостей колон пресу 100 МН та параметрів затягування різьбових з'єднань, надають можливість для збільшення гарантованого ресурсу станини та її колон при подальшій експлуатації.

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

1. В розділі 1 на стор. 43 вказано, що «на практиці базові конструкції прокатного устаткування можуть бути розділені на 5–10 небезпечних елементів», критичність відмов яких обумовлена потенційними втратами, при цьому потрібно певним чином ранжувати безпеку окремих елементів, але незрозуміло як перенести такий підхід на монооб'єкт - станину робочої кліти прокатного стану.

2. В розділі 2 на стор.61 вказано на обмеження використання еквівалентування за Мізесом при дослідженні напружено-деформованого стану МСЕ для прогнозування довговічності при багатовісній втомі, далі в розділі 3 автор наводить результати моделювання напружень в станині прошивного стану, але не робить пояснень яка використана теорія міцності.

3. В розділі 3 на стор.97 вказано «про перевищення межі текучості на короткочасний термін (в межах 0,1 с) в момент захоплення заготовки» в контрольній точці станини автоматичного стану ТПА-350 при прокатки труби зі сталі

12X18H10T, але незрозуміло як отримані ці максимальні значення напружень в зоні утворення тріщини (табл.3.2), якщо в роботі не розглядалась пов'язані динамічні моделі робочої кліті та приводу з урахуванням можливих зазорів і чи можна вважати повне зусилля прокатки максимальним при захоплені труби. Не наведені джерела високого навантаження (більше ніж в 2 рази від сталого режиму) станини робочої кліті при захоплені заготовки.

4. В розділі 3 на стор. 111 вказано, що «для непошкодженого металу підсумкова довговічність майже у 30 разів вища, ніж для моделі пошкодженого металу» (на рис.3.26 немає таких значень), чи є це загальним правилом і як відрізняються межі витривалості непошкодженого і пошкодженого металу.

5. На стор. 112 рекомендовано «зміцнювати метал станини у небезпечних місцях» для збільшення межі витривалості, що веде до зростання довговічності, але далі автор не дає роз'яснень як це можна зробити для матеріала станини (сталі 35Л) в умовах тривалої експлуатації.

6. В розділі 3 на стор. 112 автор посилається на «прогнозовані терміни служби станин, що становлять 2 - 3 роки», але незрозуміло чи є норми на ці терміни служби несучих конструкцій і при яких умовах навантаження виконаний цій прогноз.

7. Вважаю, що автору в подальших дослідженнях при розробці методик розрахунку залишкового ресурсу базових конструкції устаткування потрібно звернути увагу на критерії вибору розрахункового режиму навантаження з урахуванням того, що при довготривалій експлуатації (до 80 років) інформація по об'ємам виробництва, сортаменту, ремонтам, порушенням технології та інших чинників може бути неповною.

8. В п.3.5.2 на стор.113 вказано, що для станини прошивного стану циклічність навантаження відповідає кількості прокатаних труб, яка відповідає річній продуктивності стана, далі в п.3.5.3 на стор. 122 вказано, що «робота автомат-стану відрізняється від прошивного більш інтенсивною циклічністю, тому що за прокатку однієї труби в станині спостерігається 5 циклів (за кількістю обертів валків на одну трубу) навантажень», але в прошивному стані валки також обертаються. Виникає питання, чому кількість обертів валків прошивного стана на одну трубу не враховується при розрахунку циклічності навантаження станини робочої кліті. Крім того, така циклічність умовна, тому що є ще коливання в лінії приводу, які передаються на кліть, та мають інші частоти.

9. В п.3.5.2.3 на стор. 117 автор застосовує не дуже вдалий термін «посилення жорсткості умов експлуатації» по відношенню до роботи прошивного стану, бо незрозуміло чи відповідають ці нові умови (підвищення продуктивності, важко деформовані матеріали) технічній характеристиці стану та чому були обрані такі параметри відносної тривалості (0,8 та 0,2) по рівням навантаження.

10. У висновках по розділу 3 на стор.136 надані рекомендації для продовження експлуатації станини прошивного стану «максимально знизити (виключити) кількість труб, що виготовляються з важкодеформованих металів» не можуть вважатись коректними, так як пов'язані з реальним виробництвом, де питання технології та надійності потрібно розглядати комплексно в економічному аспекті, при цьому незрозуміла якісна рекомендація «максимально знизити».

11. В розділі 4 на стор.180 вказано, що «наближення границі витривалості в зоні різьби до 30 МПа» є умовою довготривалого строку (до 50 років) експлуатації колон преса, при цьому (на стор.186) «неможливо експериментально визначити границю витривалості», в такому разі якими конструктивно-технологічними або діагностичними засобами можливо забезпечити надану рекомендацію для групового різьбового з'єднання?

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

#### **8. Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам**

У цілому дисертаційна робота В.І. Гануша на тему «Оцінка технічного стану базових конструкцій пресо-прокатного устаткування після довготривалої експлуатації» є завершеним науковим дослідженням, має наукову новизну та практичні результати, що вирішують науково-технічну задачу оцінки технічного стану після довготривалої експлуатації базових конструкцій пресо-прокатного устаткування, які потерпають від дії комбінованого навантаження, що в кінцевому результаті забезпечує підвищення безпеки і подовження ресурсу станин робочих клітей трубопрокатного агрегату і пресу для виробництва залізничних коліс.

Дисертація оформлена відповідно вимогам ДАК МОН України, викладена технічно грамотною мовою з використанням сучасної термінології. Автореферат дисертації (об'ємом 28 стор.) відображає зміст дисертації, отримані наукові результати і висновки.

Вважаю, що рецензована дисертаційна робота за своєю вагомістю, новизною, обґрунтованістю теоретичних і практичних результатів, кількістю публікацій відповідає вимогам ДАК МОН України, що пред'являються до кандидатських дисертацій (п. 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. зі змінами), а її автор **Гануш Василь Іванович** заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата технічних наук.

#### Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін,  
Дніпровського державного аграрно-економічного університету



С.В. Зданевич

Підпис Зданевича С.В. засвідчую.

Начальниця відділу кадрів

Дніпровського державного аграрно-економічного університету




Ю.М. Карамушка



