

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Дворука Володимира Івановича на дисертаційну роботу Бекірова Аблятіфа Шевкетовича «Моделювання перехідних процесів в трибосистемах машин та обґрунтування ефективної програми їх припрацювання», поданої до захисту у спеціалізовану вчену раду К64.832.03 Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах, галузь знань 13 – механічна інженерія

1. Актуальність теми дисертації

Актуальність теми дисертації обумовлена науково-практичною потребою в розробці адекватних методів моделювання та триботехнічних розрахунків механічних систем з урахуванням закономірностей перехідних процесів.

Як показує практика, динаміку перехідних процесів найкраще описують моделі у вигляді диференціальних рівнянь, до складу яких входять коефіцієнти підсилення і постійні часу, а також їхні взаємодії. Однак визначення й фізичне обґрунтування вказаних складових рівняння потребує використання спеціальних методик. Окрім того, для їх розрахунку необхідні поточні дані трибологічних параметрів, які, зокрема, можна визначити за допомогою методу акустичної емісії. Такий підхід відкриває можливості для створення програми припрацювання трибосистем машин підвищеної ефективності.

На розв'язання вказаних питань і спрямована дана дисертаційна робота.

2. Структура й зміст дисертації

Дисертація складається з анотації українською і англійською мовою вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 205 сторінок, у тому числі 2 додатки. Обсяг основного тексту дисертації становить 151 сторінку (6,29 авторських аркушів), 55 рисунків, 24 таблиці. Список використаних джерел нараховує 178 найменувань.

Вступ містить в собі основні, передбачені нормативними положеннями ДАК МОН України дані, що характеризують дисертаційну роботу, а саме: актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, мету та завдання дослідження, об'єкт дослідження, предмет дослідження, методи дослідження, наукову новизну одержаних результатів, практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації, публікації, структуру й обсяг дисертації.

У першому розділі окреслений сучасний стан проблеми моделювання перехідних процесів у вузлах тертя машин та їх припрацювання.

Проаналізовано інформаційні джерела, щодо релаксаційних явищ й сумісності матеріалів при терті, а також їх застосування в трибологічних моделях. Показано, доцільність структурно-енергетичного підходу для створення моделей перехідних процесів в трибосистемах з використанням внутрішнього тертя як структурно-адаптивної характеристики сполучених матеріалів.

Оцінено фактори, що впливають на припрацювання трибосистем й моделювання цього процесу. Визначено й фізично обгрунтовано коефіцієнти підсилення і постійну часу як критерії оцінки перехідних процесів в трибосистемах.

Розглянуто також аналіз проблем застосування акустичної емісії в трибології, за результатами якого для реєстрації швидкості зношування під час перехідних процесів найбільш інформативним та інваріантним параметром визначено потужність сигналу акустичної емісії, що генеруються поверхнями тертя при контактній взаємодії.

Визначено мету даної дисертаційної роботи й поставлено основні завдання, які розв'язувались для досягнення цієї мети.

У другому розділі викладено методичний підхід, що застосовується при дослідженні закономірностей зміни параметрів перехідних процесів в трибосистемах залежно від вхідних параметрів останніх.

Визначено методикау дослідження перехідних процесів в трибосистемах, яка складається з теоретичних досліджень, експериментальної частини та розробки практичних рекомендацій щодо вибору програми припрацювання, а також структуру цієї методики, що відбиває наукові і практичні завдання дисертаційної роботи.

Обґрунтовано вибір матеріалів, робочих середовищ і кінематичних схем випробувань для проведення дослідження.

Встановлено тісний корелятивний зв'язок швидкості зношування трибосистем з потужністю сигналів акустичної емісії під час припрацювання.

Отримано рівняння швидкості роботи дисипації в трибосистемах під час перехідного процесу залежно від потужності сигналів акустичної емісії, з використанням якого можна розрахувати швидкість зношування трибосистеми в будь-який момент часу.

Третій розділ присвячено розробці математичної моделі перехідних процесів в трибосистемах при граничному навантаженні.

Виконано структурну ідентифікацію трибосистеми, як об'єкту моделювання процесу припрацювання. Отримано диференційні рівняння перехідного процесу для моделювання швидкості зношування і коефіцієнту тертя. Встановлено, що перехідні процеси в трибосистемах описуються диференційними рівняннями другого порядку. Аналіз рівнянь вказує на залежність динаміки перехідного процесу від швидкості та прискорення наростання вхідного впливу (навантаження і швидкості ковзання). Показано, що характер протікання перехідного процесу залежить від коефіцієнтів підсилення

і постійних часу, а також декрементів загасання, які входять в диференційні рівняння.

Виконано параметричну ідентифікацію динамічних моделей процесу припрацювання трибосистем. Отримано вирази для визначення коефіцієнтів підсилення і постійних часу. Показано, що після їх підстановки в розв'язки диференційних рівнянь відкривається можливість моделювання швидкості зношування і коефіцієнту тертя під час припрацювання.

Визначено фізичний зміст коефіцієнтів підсилення й постійних часу. Коефіцієнт підсилення K_1 визначає чутливість трибосистеми до вхідного впливу, а, отже, величину збільшення швидкості зношування і коефіцієнту тертя в процесі припрацювання. Коефіцієнт підсилення K_2 визначає здатність трибосистеми до припрацювання. Постійна часу T_1 – це час стабілізації градієнтів температур за об'ємами трибоелементів з урахуванням їх температуропровідності. Постійна часу T_2 – це час, за який відбувається перебудова структури поверхневих шарів трибоелементів, а також процеси їх деформування та зміцнення.

Проведено оцінку похибки моделювання. За результатами моделювання відкоректовано коефіцієнти підсилення, постійні часу й декременти загасання коливань. Експериментальним шляхом встановлено, що похибка моделювання швидкості зношування під час перехідного процесу складає 11,9 ... 16,6%, а коефіцієнту тертя 13,0 ... 18,5%. Найбільшу похибку моделювання отримано при зміні шорсткості поверхні.

Встановлено залежності зміни часу припрацювання трибосистем від основних факторів, що впливають на перехідний процес: коефіцієнту форми; навантаження; шорсткості поверхонь; трибологічних властивостей мастильного середовища; реологічних властивостей структури сполучених матеріалів. За отриманими теоретичним і експериментальним значеннями отримано коефіцієнт варіації величини часу припрацювання різних трибосистем.

За величиною коефіцієнту варіації запропоновано такий рейтинг факторів впливу (в бік зменшення) на час припрацювання: коефіцієнт форми трибосистеми; навантаження; шорсткість поверхонь тертя; трибологічні властивості мастильного середовища; реологічні властивості структури сполучених матеріалів. Даний рейтинг може бути використано для розробки практичних рекомендацій щодо зменшення часу припрацювання трибосистем.

Четвертий розділ присвячено визначенню критеріїв припрацювання трибосистем в умовах граничного мащення

Теоретично обґрунтовано й експериментально підтверджено критерії припрацювання трибосистем в умовах граничного мащення: добротності Q ; чутливості до зовнішніх впливів K_1 ; припрацювання K_2 ; інерційності при зміні зовнішніх впливів T_1 та T_2 ; стаціонарності d_1, d_f .

Отримало подальший розвиток поняття добротності трибосистеми, в якому враховано геометричні розміри та кінематичну схему трибосистеми, температуропровідність матеріалів, а також швидкість поширення деформації в поверхневих шарах матеріалів трибоелементів при їх контактній взаємодії. Теоретичними та експериментальними дослідженнями встановлено взаємозв'язок між величиною добротності, швидкістю зношування і коефіцієнтом тертя в процесі припрацювання. Показано, що збільшення добротності знижує зазначені вище параметри, а сам критерій є мірою потенційної можливості трибосистеми пристосовуватися (адаптуватися) до умов експлуатації.

Встановлено взаємозв'язок між часом припрацювання і величиною добротності. Показана можливість керування процесом припрацювання. Для скорочення тривалості припрацювання необхідно зменшувати швидкість ковзання під час перехідного процесу й підвищувати трибологічні властивості мастильного середовища.

Отримано критерій оцінки чутливості трибосистеми до зміни зовнішніх впливів в процесі припрацювання K_1 . Теоретичним та експериментальним шляхом встановлено взаємозв'язок між часом припрацювання і вказаним критерієм. Показано, що зі зменшенням K_1 , трибосистема є стійкішою до зовнішніх збурень і має менший час припрацювання. Обґрунтовано шляхи зниження критерію чутливості через підвищення трибологічних властивостей мастильного середовища, зниження шорсткості поверхонь тертя та зменшення швидкості ковзання під час припрацювання. Встановлено, що параметр навантаження не чинить істотного впливу на зміну критерію чутливості.

Отримано критерій оцінки здатності трибосистеми до припрацювання K_2 . Встановлено, що на вказаний критерій істотний вплив чинить швидкість ковзання, початкова шорсткість поверхонь тертя і мастильне середовище. Показано, що для поліпшення здатності до припрацювання трибосистем (збільшення критерію K_2), необхідно зменшувати швидкість ковзання і початкову шорсткість поверхонь тертя при одночасному підвищенні трибологічних властивостей мастильного середовища.

Теоретично обґрунтовано й експериментально підтверджено критерії оцінки інерційності трибосистеми до зміни зовнішніх впливів. Встановлено, що мінімальні значення критерію T_1 пов'язані зі швидким вирівнюванням температур по всьому об'єму трибоелементів в процесі припрацювання, а малі значення критерію T_2 – зі швидкою перебудовою структури поверхневих шарів й шорсткості поверхонь тертя. Встановлено взаємозв'язок між величинами критеріїв інерційності і часом припрацювання. Показано, що для зниження часу припрацювання необхідно зменшувати T_1 і T_2 через зменшення об'ємів трибоелементів, підвищення температуропровідності матеріалів й збільшення швидкості ковзання.

Запропоновано критерії оцінки стаціонарності процесу припрацювання – декременти загасання за параметром швидкості зношування та коефіцієнту

тертя. Встановлено, що перехідний процес за параметром швидкості зношування має значення $d_f = 0,62 \dots 0,95$ і проходить без коливань, а за параметром коефіцієнта тертя - $d_f = 0,23 \dots 0,79$ і супроводжується коливаннями. Теоретичним та експериментальним шляхом встановлено оптимальні значення декрементів загасання: $d_f = 0,7 \dots 0,95$; $d_f = 0,35 \dots 0,45$, при яких час припрацювання трибосистем буде мінімальним. Обґрунтовано шляхи зміни величини декрементів загасання (шляхи управління процесом припрацювання), через збільшення швидкості ковзання, зменшення навантаження для мінімізації часу припрацювання за параметром швидкості зношування, збільшення швидкості ковзання, а також збільшення навантаження за параметром коефіцієнту тертя. Даний висновок вказує на необхідність розробки ступінчастої програми припрацювання трибосистем, у якій швидкість ковзання й навантаження мають змінюватись обернено пропорційно.

У п'ятому розділі представлено результати обґрунтування раціональної програми припрацювання трибосистем.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено структуру вказаної програми, яка складається з двох режимів. На першому режимі задається максимальне навантаження, нижче навантаження «заїдання» при мінімальній швидкості ковзання. Такий режим дозволяє за рахунок інтенсивної деформації мікровиступів сформувати рівноважну шорсткість поверхонь тертя та змінити структуру тонких поверхневих шарів. На другому режимі задається мінімальне навантаження і максимальна швидкість ковзання. Такий режим дозволяє зменшити час перебудови структури матеріалу поверхневих шарів й завершити утворення вторинних структур і окисних плівок.

Теоретичним шляхом за допомогою математичного моделювання для різних конструкцій трибосистем підтверджено ефективність розробленої програми припрацювання, яка порівняно з іншими відомими програмами

скорочує час припрацювання і зменшує лінійний знос в результаті припрацювання. Експериментальною перевіркою розробленої програми на різних конструкціях трибосистем підтверджено ефективність режимів припрацювання і розраховано похибку моделювання процесу припрацювання, яка не перевищує 14,2%.

На підставі отриманих теоретичних та експериментальних результатів розроблено програму обкатки шестеренних насосів НШ-10 на стенді після їх виготовлення. Ефективність розробленої програми підтверджено стендовими випробуваннями. Це дозволяє стверджувати, що при однаковому лінійному зносі, час обкатки насосів зменшується в 2,66 разів порівняно з базовою програмою, яка застосовується на заводі – виробнику.

Виконано оцінку економічного ефекту від впровадження розробленої програми обкатки насосів на заводі – виробнику. Річний економічний ефект за рахунок скорочення часу обкатки насосів на стенді за програмою 1200 шт. в рік складе 424300 грн./рік.

Висновки дисертаційної роботи ґрунтуються на аналізі одержаних результатів. Вони наведені в кінці кожного розділу й в узагальненому вигляді в заключній частині дисертації.

Список літературних джерел налічує 178 найменувань, що засвідчує широке й ґрунтовне опанування автором наявної інформації за темою дисертації та її аналіз.

У додатках наведено інформацію щодо порівняння результатів моделювання і експерименту для різних трибосистем, списку публікацій здобувача за темою дисертації, а також актів впровадження результатів дисертаційної роботи.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Положення, що виражають наукову новизну одержаних результатів полягають в такому:

Вперше:

- отримано залежності перехідного процесу в різних конструкціях трибосистем. Показано, що характер протікання процесу припрацювання залежить від коефіцієнтів підсилення і постійних часу, які входять в диференційні рівняння, а відсутність або наявність коливань, від величини декремента загасання. Отримано вирази для визначення коефіцієнтів підсилення і постійних часу;

- отримано залежності зміни часу припрацювання трибосистем від основних факторів, що впливають на перехідний процес: коефіцієнта форми; навантаження; шорсткості поверхонь; трибологічних властивостей мастильного середовища; реологічних властивостей структури сполучених матеріалів. За отриманими теоретичним і експериментальним значеннями отримано коефіцієнт варіації величини часу припрацювання різних конструкцій трибосистем.

Набули подальшого розвитку:

- визначення добротності трибосистеми, встановлено взаємозв'язок між величиною добротності, швидкістю зношування і коефіцієнтом тертя в процесі припрацювання. Показано, що збільшення добротності знижує зазначені вище параметри, а сам критерій є мірою потенційної можливості трибосистеми пристосовуватися (адаптуватися) до умов експлуатації.

Удосконалено:

- критерії оцінки процесу припрацювання трибосистем в умовах граничного мащення: добротності Q ; чутливості до зовнішніх впливів K_1 ; припрацювання K_2 ; інерційності при зміні зовнішніх впливів T_1 та T_2 ;

стаціонарності d_b , d_f . Обґрунтовано шляхи вибору раціональних значень критеріїв та необхідність застосування ступінчастої програми припрацювання, де швидкість ковзання і навантаження повинні змінюватися обернено пропорційно.

4. Практична значимість отриманих результатів полягає в такому:

- розроблено програму припрацювання трибосистем, яка складається з двох режимів. На першому режимі задається максимальне навантаження, нижче навантаження «заїдання» при мінімальній швидкості ковзання. На другому режимі задається мінімальне навантаження при максимальній швидкості ковзання. Експериментальна перевірка на трибосистемах різної конструкції підтвердила ефективність програми. При цьому похибка моделювання процесу припрацювання не перевищувала 14,2%;

- розроблено програму обкатки шестеренних насосів НШ-10 на стенді після їх виготовлення. Ефективність розробленої програми підтверджується результатами стендових випробувань. Це дозволяє стверджувати, що при однаковому лінійному зносі, час обкатки зменшується в 2,66 разів порівняно з базовою програмою, яка застосовується на заводі – виробнику;

- виконано оцінку економічного ефекту від впровадження розробленої програми обкатки насосів на заводі - виробнику. Річний економічний ефект за рахунок скорочення часу обкатки насосів на стенді за програмою 1200 шт в рік, складе 424300 грн. / рік.

Результати роботи використовуються в «Державному підприємстві «Харківське агрегатне конструкторське бюро» при проектуванні та обкатці гідромашин.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

На основі одержаних результатів в дисертаційній роботі розроблено наукові положення, висновки й рекомендації, що дозволили моделювати перехідні процеси в трибосистемах машин та обґрунтувати ефективну програму їх припрацювання.

Обґрунтування вказаних наукових положень, висновків та рекомендацій проведено за допомогою сучасних теоретичних та експериментальних методів дослідження.

Теоретичні дослідження базувались на системному аналізі, механіці контактної взаємодії поверхонь тертя, термодинаміці необоротних процесів в механічних системах.

Для експериментальних лабораторних досліджень залучено сучасні стандартизовані методи й обладнання, а також теорію планування експерименту та методи математичної статистики.

Встановлено відповідність між теоретичними й експериментальними результатами, отриманими в дисертаційній роботі.

Таким чином, матеріали дисертації підтверджують обґрунтованість сформульованих в ній наукових положень, висновків та рекомендацій.

6. Достовірність та новизна висновків і рекомендацій

Завдання, що поставлені в дисертаційній роботі для досягнення її мети впливають з детального аналізу літературних джерел, де представлено сучасні уявлення та результати досліджень щодо релаксаційних явищ, сумісності матеріалів при терті та їх застосування в трибологічних моделях, факторів, які впливають на процеси припрацювання трибосистем й моделювання цих процесів, а також застосування акустичної емісії в трибології.

Розв'язання цих завдань спирається на позитивні результати дослідження, отримані за посередництвом сучасних теоретичних та експериментальних методів. Для їх обробки й аналізу залучались стандартні комп'ютерні програми.

Це свідчить про достовірність висновків і рекомендацій, що представлені в дисертаційній роботі.

Вказані висновки і рекомендації мають новизну, оскільки вони є складовими нового вирішення актуального наукового завдання з розробки методів моделювання перехідних процесів в трибосистемах на етапі проектування та виробництва машин., які надають можливість спрогнозувати ресурс трибосистем, а також вибрати раціональні режими їх обкатки й експлуатації.

7. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

За темою дисертації опубліковано 9 наукових праць (2 одноосібні), у тому числі: 7 статей у фахових виданнях переліку МОН України, 2 статті у закордонному виданні, що входить до НМБ Scopus, 3 публікації матеріалів та тез доповідей на науково-технічних конференціях.

Це свідчить про повноту викладу результатів дисертації в опублікованих працях.

Автореферат дисертації за викладом та змістом відповідає дисертаційній роботі, а також вимогам ДАК України.

8. Зауваження по дисертації й автореферату

За змістом дисертації й автореферату можна зробити такі зауваження:

1. Об'єктом досліджень дисертаційної роботи є процеси тертя та зношування під час припрацювання трибосистем в умовах граничного мащення (див. автореферат, стор. 2), тому застосування цього терміну для позначення досліджуваних матеріалів (див. дисертація, стор.54) є некоректним.

2. З тексту дисертації незрозуміло, чому метод штучних баз виявився найбільш прийнятним для вимірювання зносу трибосистеми (див. стор. 57), адже він потребує зупинки машини тертя. Ураховуючи, що вимірювання решти досліджуваних параметрів – моменту тертя, температури тертя, потужності

сигналів АЕ відбувалось в процесі випробувань без зупинки машини, зручнішим й менш трудомістким було б так саме вимірювати знос.

3. Оскільки отримані шляхом моделювання залежності зміни добротності (рис. 4.1, 4.2), коефіцієнтів підсилення K_1 і K_2 (рис. 4.6, 4.8), постійної часу T_2 (рис. 4.12, 4.13), декрементів загасання d_1 і d_f (рис. 4.15, 4.16) від основних факторів, що впливають на процес припрацювання перетинаються одне з одним, то запропоновані автором рейтинги щодо їх впливу є справедливими лише для окремих ділянок вказаних залежностей, в той час як на інших ділянках вони істотно змінюються.

9. Загальний висновок по дисертаційній роботі

Дисертаційна робота Бекірова Аблятіфа Шевкетовича «Моделювання перехідних процесів в трибосистемах машин та обґрунтування ефективної програми їх припрацювання» є актуальною за темою науково-дослідною працею, в якій одержані нові обґрунтовані та достовірні наукові результати, що мають практичне значення у прогнозуванні ресурсу й виборі раціональних режимів обкатки та експлуатації трибосистем машин.

Напрямок проведеного дослідження відповідає паспорту спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах.

Основні результати роботи достатньо повно опубліковано у фахових виданнях, в тому числі тих, що входять до міжнародних науково-метричних баз й апробовано на наукових конференціях різного рівня.

Автореферат дисертації за викладенням та змістом відповідає дисертаційній роботі.

Недоліки, які відмічено в зауваженнях, в основному скеровані на вдосконалення та продовження роботи і не знижують її високого наукового рівня.

Таким чином, дисертація Бекірова Аблятіфа Шевкетовича «Моделювання перехідних процесів в трибосистемах машин та обґрунтування ефективної програми їх припрацювання» є цілісною, завершеною науково-дослідною роботою, в якій на підставі особисто виконаних здобувачем досліджень отримано нові теоретичні й експериментальні результати, що дозволили розв'язати актуальне наукове завдання з розробки методів моделювання перехідних процесів в трибосистемах на етапі проектування та виробництва машин. Вона відповідає вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій згідно п.п. 9,11,12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а її автор Бекіров Аблятіф Шевкетович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04. – тертя та зношування в машинах, галузь знань 13 – механічна інженерія.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор, професор

кафедри загальної та прикладної фізики

Національного авіаційного університету



— Дворук В.І.



Дворук В.І.

св і д ч у ю

Вчений секретар

Національного авіаційного університету

Т. Суроба