

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

КОЗИР АНТОН ГРИГОРОВИЧ

УДК 621.891

**МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ
В ТРІБОСИСТЕМАХ ГІДРОМАШИН**

Спеціальність 05.02.04 – тертя та зношування в машинах

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка, Міністерство аграрної політики та продовольства України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Войтов Віктор Анатолійович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка,
проректор з наукової роботи

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий
співробітник
Дворук Володимир Іванович,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри теоретичної та прикладної фізики;

кандидат технічних наук,
Трошін Олег Миколайович,
Харківський університет Повітряних Сил
ім. І.Кожедуба,
старший викладач кафедри інженерно-авіаційного
забезпечення

Захист дисертації відбудеться «__» _____ 2014 року о ____ годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.832.03 в Харківському
національному технічному університеті сільського господарства ім. Петра
Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Артема, 44.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Харківського
національного технічного університету сільського господарства
імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Артема, 44.

Автореферат розісланий «__» _____ 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.М. Власовець

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Надійність конструкцій машин і механізмів закладається на етапі проектування та невід'ємно пов'язана з розробкою та удосконаленням розрахункових методів. Як показує практика проектування, методи розрахунку на міцність широко використовуються конструкторами, наприклад, метод кінцевих елементів. При цьому методи розрахунку на зносостійкість і прогнозування ресурсу використовуються обмежено та мають значне відставання від методів розрахунку на міцність.

Як відомо, знос за час обкатки дорівнює зносу за період експлуатації. Тому величина зносу за час обкатки є необхідною ланкою в методиках і методах розрахунку на зносостійкість на етапі проектування нових машин.

Оцінка робіт, які присвячені аналізу моделювання перехідних процесів дозволила виявити, що такі моделі повинні будуватися у вигляді диференціальних рівнянь, які найкращим чином будуть відображувати динамічний процес у часі.

Однак завдання визначення вхідних в диференціальні рівняння коефіцієнтів підсилення і постійних часу, а також їх взаємодії, є невирішеним та потребує розробки спеціальних методик для їх визначення і фізичного обґрунтування.

Виходячи з вищевикладеного, розробка методів моделювання та розрахунку трібосистем на тертя та знос з урахуванням припрацювання є актуальною задачею, спрямованою на підвищення зносостійкості машин та устаткування.

Зв'язок роботи з науковими матеріалами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи пов'язана з виконанням Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» від 08.09.2011 р. № 3715-VI. Окремі результати роботи виконані в рамках держбюджетної теми «Дослідження, наукове обґрунтування та впровадження конкурентоспроможних ресурсозберігаючих технологій, засобів реновації, нових матеріалів і технічних засобів для інноваційного розвитку агропромислового комплексу» (ДР 0109U000362, 2009 – 2014 рр.), яка входить до плану науково-дослідних робіт ХНТУСГ ім. П. Василенка.

Мета та завдання досліджень. Мета роботи – розрахунок і прогнозування параметрів тертя та зношування трібосистем гідромашин з урахуванням зносу за час припрацювання. Відповідно до цього необхідно вирішити наступні основні наукові та прикладні завдання:

1. Обґрунтувати метод та інформативні параметри для вивчення й реєстрації перехідних процесів в трібосистемах, а також розробити методіку для обробки параметрів перехідного процесу в реальному масштабі часу.

2. Визначити та проаналізувати функціональні залежності параметрів перехідного процесу в трібосистемі в залежності від різних вхідних впливів на трібосистему.

3. Визначити критерії оцінки перехідних процесів в трібосистемах та проаналізувати ступінь їх впливу на цей процес.

4. Розробити методики математичного моделювання перехідних процесів в трібосистемах, як інструменту для визначення їх ресурсу і оптимальних

режимів експлуатації та впровадити на підприємствах по виробництву гідронасосів.

Об'єкт досліджень – процеси тертя та зношування в трібосистемах гідромашин під час припрацювання та на сталих режимах експлуатації.

Предмет досліджень – моделювання перехідних процесів тертя та зношування в трібосистемах гідромашин.

Методи дослідження: системний аналіз, теорія ідентифікації динамічних об'єктів, теорія автоматичного регулювання, теорія планування експерименту, математична статистика, лабораторні випробування на машинах тертя.

Наукова новизна одержаних результатів. Положення, що характеризують наукову новизну дисертаційної роботи, полягають у наступному:

1. Вперше отримані залежності зміни параметрів перехідного процесу в трібосистемах від об'єднаних комплексів, що характеризують вхідний вплив на трібосистему. Із аналізу залежностей встановлено, що на динаміку перехідного процесу, в першу чергу, впливають умови навантаження і масштабний фактор трібосистеми, потім релаксаційні властивості матеріалів трібоелементів і в меншій мірі змащувальне середовище. Отримані залежності дозволяють на етапі проектування трібосистем розрахунковим шляхом отримати значення швидкості зношування та сили тертя, як на сталому режимі, так і під час припрацювання, а також розрахувати час припрацювання.

2. Встановлено, що динаміку перехідного процесу в трібосистемах характеризують наступні параметри: величина початкового забросу сили тертя при прикладенні вхідного впливу до трібосистеми; максимальне значення сили тертя та швидкості зношування під час перехідного процесу; сталі значення сили тертя та швидкості зношування після завершення перехідного процесу; час завершення перехідного процесу; час, коли сила тертя досягає максимального значення і час, коли похідна функції $F_{mp}(t)$ змінює свій знак. Значення вказаних параметрів дозволяють розрахувати коефіцієнти підсилення та постійні часу і визначити раціональні режими припрацювання та експлуатації.

3. Вперше отримані залежності критеріїв оцінки перехідних процесів в трібосистемах від експлуатаційних параметрів. Встановлено, що коефіцієнт підсилення K_1 визначає реакцію трібосистеми на збурення і раціональні режими експлуатації, коефіцієнти K_2 і постійні часу T_1 – режими раціонального припрацювання, коефіцієнти K_3 і постійні часу T_2 – механічні втрати на тертя в процесі припрацювання. Це дає можливість моделювати процеси припрацювання та розраховувати знос за час припрацювання.

4. Отримало подальший розвиток застосування методу акустичної емісії для моніторингу трібосистем, який на відміну від відомих дозволяє визначити максимальне значення швидкості зношування під час припрацювання. Визначені та обґрунтовані інформативні параметри акустичної емісії – дисперсія амплітуд та спектральна потужність сигналів. Встановлено, що спектральна потужність корелює зі швидкістю зношування з коефіцієнтом кореляції 0,98 і адекватно відображує процес припрацювання трібосистем.

Практичне значення отриманих результатів. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблена методика моніторингу швидкості

зношування трібосистем на перехідних режимах на основі методу акустичної емісії. Методика дозволяє визначити швидкість зношування в будь-якій точці перехідного процесу.

Розроблена методика математичного моделювання перехідних процесів в трібосистемах, яка дозволяє визначити ресурс і механічні втрати на тертя трібосистем, що проектуються, без проведення попередніх експериментів. Ресурс трібосистем визначається з урахуванням зносу за припрацювання, що є суттєвою відмінністю від всіх раніше існуючих розрахункових моделей і методик. Розроблена технологія обкатки гідронасосу НП-96М, яка впроваджена на підприємствах «Дніпропетровський агрегатний завод» та «Державне підприємство Харківське агрегатне конструкторське бюро» на етапі проектування та обкатки гідромашин з економічним ефектом 95 тис. грн. на рік.

Теоретичні та експериментальні результати дисертаційних досліджень впроваджені в навчальний процес Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка при викладанні дисциплін: «Тертя, знос, мащення деталей машин», «Забезпечення паливо-мастильних матеріалів» та «Біопаливо».

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи отримані здобувачем особисто. У наукових статтях, які виконані у співавторстві, особистий внесок здобувача наступний: теоретично обґрунтовані критерії моделювання швидкості зношування на перехідних режимах та отримані залежності їх зміни від вхідного впливу [2]; обґрунтовані та експериментально підтверджені параметри акустичної емісії для оцінки швидкості зношування [3]; теоретично обґрунтовані критерії оцінки сили тертя на перехідних режимах та отримані залежності їх зміни від вхідного впливу [4]; теоретично обґрунтовані та експериментально підтверджені критерії вибору раціональних режимів обкатки і експлуатації трібосистем [5]; розроблена структура методики моделювання перехідних процесів [6]; отримані розрахункові залежності та виконана оцінка точності моделювання перехідних процесів в трібосистемах [7]; обґрунтовані та визначені незалежні фактори, що визначають вхідний вплив на трібосистему [8].

Апробація результатів дисертації. Результати роботи доповідалися та обговорювалися на: Міжнародній науковій сесії «Інноваційні проекти в галузі технічного сервісу машин» (Харків, ХНТУСГ, 2013 р.); Международной научно-практической конференции «Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве» (Минск, БГАТУ, 2013 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми надійності машин і засобів механізації сільськогосподарського виробництва» (Харків, ХНТУСГ, 2013 р.); IX-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання, виробництва і експлуатації с/г техніки» (Кіровоград, КНТУ, 2013 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 8 наукових праць (1 одноосібна), з них 6 статей у фахових виданнях, 1 – у закордонному виданні, 1 публікація матеріалів і тез конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який налічує 133 найменування, та 4 додатків. Роботу викладено на 186 сторінках, з них 140 сторінок основного тексту, на яких розміщено 52 рисунка та 9 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ до дисертаційної роботи містить такі положення: актуальність теми; зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; мету та завдання досліджень; наукову новизну одержаних результатів; практичне значення одержаних результатів; особистий внесок здобувача; інформацію про апробації та публікації; відомості про структуру роботи.

У першому розділі проведено аналіз робіт, які присвячені розробці моделей тертя та зношування, а також методів розрахунку на тертя та знос. На основі робіт Г. Фляйшера, А. Тросса, І.В. Крагельського, Б.І. Костецького, робиться висновок, що в основу розробки моделей та методів розрахунку на тертя і знос покладено енергетичний підхід.

Подальший розвиток методів розрахунку на тертя та знос, а також моделювання процесів тертя та зношування отримало в роботах М.Ф. Семенюка, А.Г. Кузьменко, О.В. Дихі. Р.В. Сорокатином запропоновано описувати знос масивом векторів вірогідностей величин зносу дискретних точок поверхні, названих «трібоелементами». Трібоелемент моделюється нестационарними випадковими функціями марковського типу.

Вивченню певних аспектів сумісності матеріалів пар тертя присвячені роботи М.О. Буше, Д.М. Гаркунова, Р.М. Матвеевського, М.М. Хрущова, Р.М. Олексієва, І.І. Карасика. По суті, при розгляді сумісності вирішуються задачі оптимізації.

Вибору критеріїв сумісності матеріалів трібосистем присвячені роботи Б.І. Костецького та Л.І. Бершадського, що залучили до вивчення процесів тертя та зношування закони термодинаміки незворотних процесів.

В.В. Шевеля спільно з О.М. Гладченко, П.В. Назаренко та В.А. Войтовим в своїх роботах показали, що релаксаційні процеси проявляють більш високу структурну чутливість до зміни напружено-деформованого стану матеріалу при динамічному навантаженні.

Розглянутий аналіз методик моделювання показав, що найбільш доцільним буде використання методики фізичного моделювання. Висвітленню методології фізичного моделювання та критеріального підходу при розв'язанні складних тріботехнічних завдань присвячені роботи І.В. Крагельського, А.В. Чичинадзе, Ю.О. Євдокимова, Е.Д. Брауна.

Для вивчення перехідних процесів в трібосистемах та реєстрації швидкості зношування в реальному режимі часу виконано аналіз методів діагностування трібосистем. На основі робіт О.І. Свириденка, М.К. Мишкіна, В.О. Білого, Т.Ф. Калмикової, В.В. Запорожця, В.М. Стадніченко зроблено висновок, що для кількісної оцінки інтенсивності зношування в періоді припрацювання ефективно використання статистичних характеристик, наприклад дисперсії флуктуацій параметрів акустичної емісії (АЕ).

На основі виконаного аналізу літературних джерел у першому розділі сформульована мета та завдання дослідження.

У другому розділі роботи описується методичний підхід, який застосовується при дослідженні характеру поведінки параметрів перехідного процесу в трібосистемі в залежності від величини вхідного впливу на систему.

Для обґрунтування вибору інформативних параметрів АЕ при контролі процесів зношування в трібосистемах машин розглянуто зміну виду сигналу АЕ, знятого під час перехідного режиму (припрацювання) трібосистеми, рис. 1. Із наведених діаграм видно, що амплітуда акустичних сигналів, в подальшому $X(t)$, може бути задана як функція дійсної змінної t .

Велика кількість проведених експериментів по аналізу процесу припрацювання трібосистеми показали, що при оцінці швидкості зношування краще за все використовувати спектральну потужність акустично-емісійного випромінювання, яка визначається по виразу:

$$W_A = \frac{A_{\Sigma}^2}{t_p}, \quad (1)$$

де A_{Σ}^2 – сумарне значення квадрату амплітуд за час реєстрації t_p ;
 t_p – час реєстрації.

Експериментальні дослідження проводились в два етапи і мали на меті – визначити кореляційний зв'язок між швидкістю зношування – I_V , $\text{м}^3/\text{с}$ та параметрами акустичної емісії: дисперсією амплітуд сигналів АЕ – D_A , мВ і спектральною потужністю випромінювання – W_A , $\frac{\text{мВ}^2}{\text{с}}$.

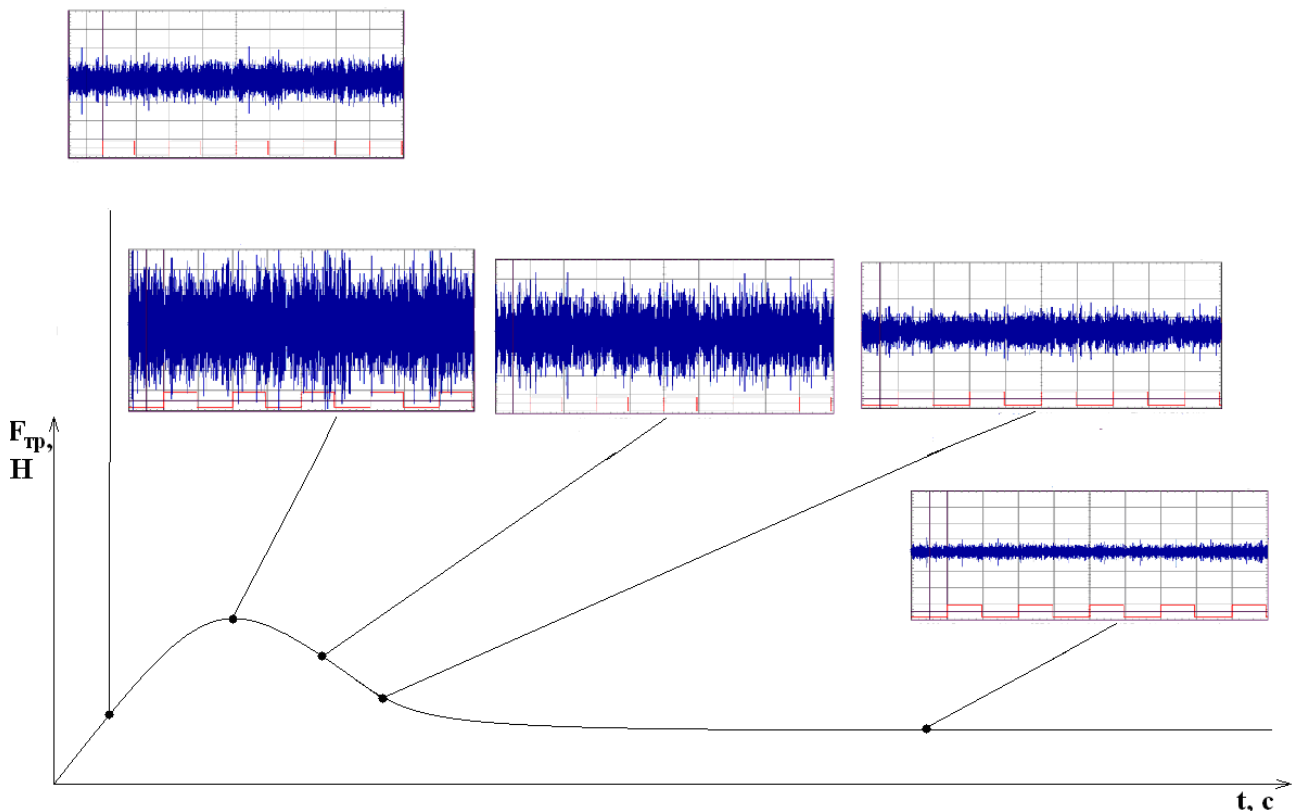


Рис. 1. Динаміка перехідного процесу в трібосистемі та вид сигналу АЕ в різних точках процесу

Експериментальні дослідження проводились на машині тертя по двом кінематичним схемам: «диск-диск» і «кільце-кільце», перша з яких є вищою, а друга – нижчою.

При перевірці однорідності дисперсій сукупності результатів сигналу АЕ на сталому режимі, що еквівалентно підтвердженню їх відтворюваності, в

умовах вибірок малого об'єму використовували критерій Кохрена, який дозволяє порівняти однорідність дисперсій результатів аналізу амплітуд сигналів АЕ в різних точках перехідного процесу.

Результати експериментальних досліджень наведені в графічному вигляді, рис. 2, який відображує середні значення параметрів по трьом однотипним повторам.

Як випливає з аналізу представлених графічних залежностей найкращий функціональний зв'язок з параметрами тертя (M_{mp} , T) має спектральна потужність АЕ, W_A , так як діапазон її зміни в точці 1 щодо точки 2 значно більше, ніж у дисперсії амплітуд АЕ – D_A .

Наприклад, для нижчої кінематичної пари «кільце-кільце» діапазон зміни спектральної потужності W_A складає: $\Delta W_A = \left(\frac{1100 - 140}{140} \right) \cdot 100 = 685\%$, а для дисперсії амплітуд D_A : $\Delta D_A = \left(\frac{35 - 8}{8} \right) \cdot 100 = 337\%$.

Другим етапом експериментальних досліджень стало визначення функціонального взаємозв'язку між швидкістю зношування I_V і параметрами АЕ, D_A і W_A для зазначених вище трібосистем при зміні навантаження на вузлі тертя від 300 Н до 1200 Н.

Дослідження проводилися на стаціонарних режимах тертя. Після завершення припрацювання (після стабілізації параметрів) на поверхні тертя наносилися лунки для вимірювання зносу і після проведення випробувань на протязі двох годин методом штучних баз визначався лінійний знос, який перераховували в об'ємний.

Результати експериментальних досліджень наведені на рис. 3.

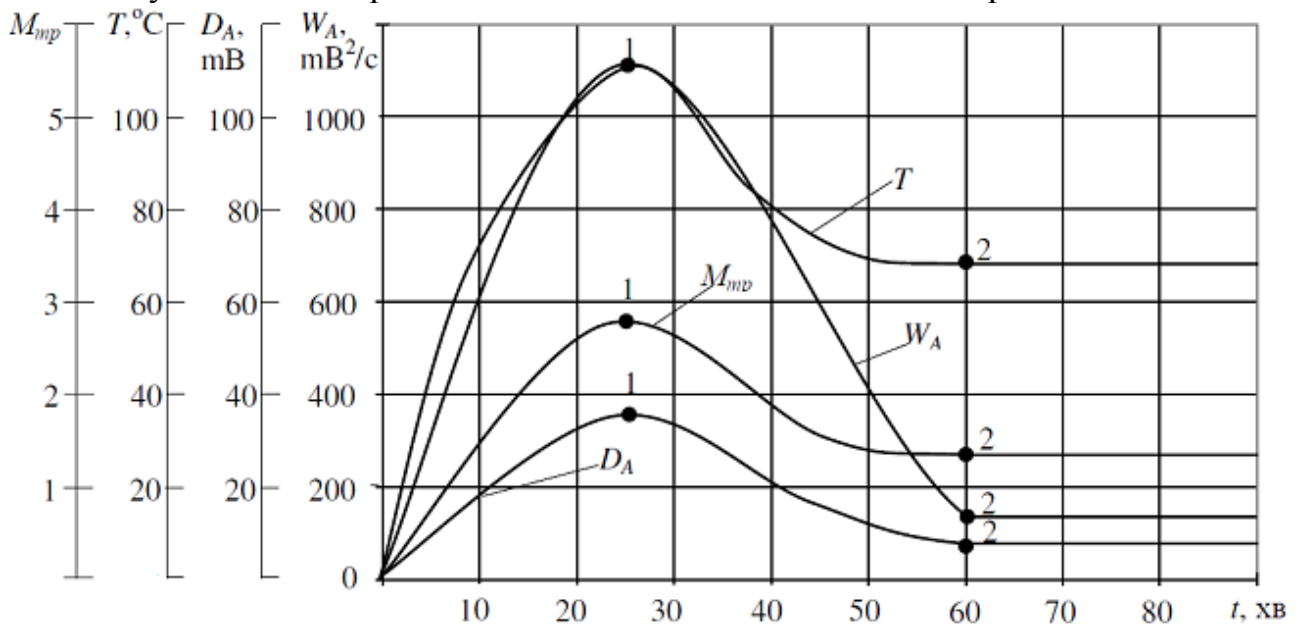


Рис. 2. Вимірювання параметрів перехідного процесу в часі для трібосистеми «кільце-кільце»

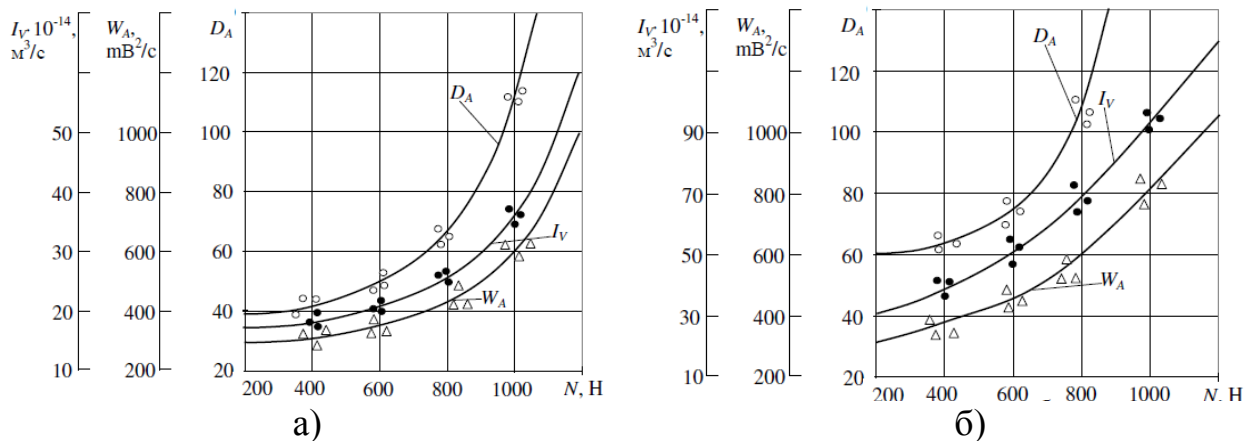


Рис. 3. Залежність швидкості зношування I_V , спектральної потужності АЕ, W_A і дисперсії АЕ D_A від зміни навантаження в трібосистемі: а – для нижчих кінематичних схем; б – для вищих кінематичних схем.

Аналіз розрахункових значень критерію Кохрена – C_p і табличного значення – $C_{табл}$ при заданому рівні значимості 0,95 (кількість оцінюваних параметрів – 2, кількість повторів – 10), дозволяє зробити висновок, результати вимірювань однорідні і відтворювані.

Для нижчих та вищих кінематичних пар коефіцієнти кореляції між залежностями I_V і D_A мають значення $R=0,96$ й $R=0,98$ відповідно, а для залежностей I_V і W_A значення $R=0,98$ для обох варіантів.

Залежності швидкості зношування від параметрів АЕ представлені на рис.4.

Лінійний характер залежностей швидкості зношування від параметра сигналу акустичної емісії W_A дозволяє розрахувати швидкість зношування в точках 1, по відомим значенням на сталому режимі, в точках 2 (рис. 2), використовуючи наступне співвідношення:

$$\frac{I_{Vmax}}{I_{Vycm}} = \frac{W_{Amax}}{W_{Aycm}}, \quad (2)$$

I_{Vmax} і W_{Amax} - максимальні значення швидкості зношування і спектральної потужності під час перехідного процесу, тобто в точці 1;

I_{Vycm} и W_{Aycm} - значення швидкості зношування і спектральної потужності сигналів АЕ на сталому режимі, тобто в точці 2, після завершення перехідного процесу.

Для знаходження максимального значення швидкості зношування за час перехідного процесу запропонована формула:

$$I_{Vmax} = \frac{W_{Amax}}{W_{Aycm}} I_{Vycm}, \quad (3)$$

На підставі виконаних досліджень розроблена методика визначення максимальних значень швидкості зношування під час перехідного процесу.

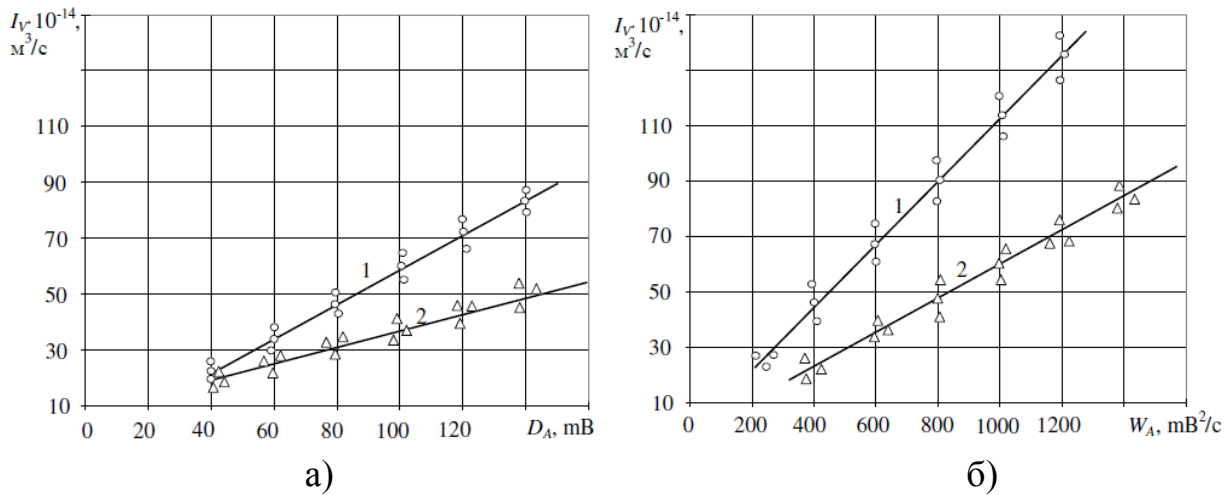


Рис. 4. Залежність швидкості зношування I_V від дисперсії амплітуд АЕ (а), - D_A і спектральної потужності сигналів АЕ (б), - W_A : 1 – нижчі кінематичні пари; 2 – вищі кінематичні пари.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячений визначенню функціональних залежностей параметрів перехідного процесу в трібосистемах від різних вхідних впливів на систему.

В якості вхідного впливу на трібосистему обрані: N – навантаження на вузлі тертя, Н; V – швидкість ковзання, $\text{м}/\text{с}$; α – параметр, що враховує релаксаційні властивості структури сполучених матеріалів та їх сумісність в трібосистемах, $\text{дБ}/\text{м}$; $A_{y_{cp}}$ – параметр, що характеризує змащувальні властивості середовища, $\text{Дж}/\text{м}^3$; Q – витрата змащувального середовища через вузол тертя, $\text{кг}/\text{с}$; K_ϕ – коефіцієнт, що враховує геометричні розміри вузла тертя (коефіцієнт форми), $1/\text{м}$.

Параметр α , який враховує релаксаційні властивості структури сполучених матеріалів та їх сумісність між собою, розраховується як діапазон зміни коефіцієнта затухання ультразвукових імпульсів в матеріалі рухомого і нерухомого трібоелементів за формулою:

$$\alpha = \alpha_{np(max)} - \alpha_{vax(min)}, \quad (4)$$

де $\alpha_{np(max)}$ - максимальне (більше) значення коефіцієнта затухання ультразвукових коливань одного з трібоелементів в трібосистемах після завершення припрацювання, $\text{дБ}/\text{м}$;

$\alpha_{vax(min)}$ - вихідне (менше) значення коефіцієнта затухання одного з трібоелементів до припрацювання, $\text{дБ}/\text{м}$.

Облік змащувального середовища при роботі трібосистеми враховували по енергетичному параметру - питомій роботі зношування за формулою:

$$A_{y_{cp}} = \frac{\mu \cdot L_{mp} \cdot N}{V_{zn}}, \quad (5)$$

де μ - коефіцієнт тертя; L_{mp} - шлях тертя, м ;

N - навантаження, Н;

V_{zn} - об'єм зношеного матеріалу, м^3 .

Геометричні розміри трібосистеми або масштабний фактор трібосистеми

враховується за допомогою коефіцієнта форми, який визначається за виразом:

$$K_{\phi} = \frac{A_H}{V_{II} + V_H \frac{A_{II}}{A_H}}, 1/\text{м}, \quad (6)$$

де A_H - площа тертя нерухомого трибоелемента, м^2 ; V_{II} - об'єм рухомого трибоелемента, м^3 ; V_H - об'єм нерухомого трибоелемента, м^3 ; A_{II} - площа тертя рухомого трибоелемента, м^2 .

При плануванні та проведенні багатофакторного експерименту з метою скорочення числа факторів, перераховані вище параметри, були об'єднані в три комплекси:

- перший комплекс ($\frac{N \cdot V}{K_{\phi}} = W$) характеризує умови навантаження

трибосистеми. Фізичний зміст цього комплексу - потужність що підводиться до трибосистеми, геометричним параметром якого є коефіцієнт форми, розмірність $(\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{м})/\text{с} = \text{Вт} \cdot \text{м}$;

- другий комплекс (α) - характеризує релаксаційні властивості структури обох сполучених матеріалів та їх сумісність між собою, розмірність $\text{дБ}/\text{м}$;

- третій комплекс ($A_{\text{усп}} \cdot Q = A_y$) - характеризує змащувальне середовище і його витрати через вузол тертя. Фізичний зміст цього комплексу полягає в здатності одиниці маси змащувального середовища проявляти свої трибологічні властивості в одиницю часу, розмірність $\frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}$.

Функціями відгуку виступатимуть параметри: максимальне значення швидкості зношування під час перехідного процесу $I_{V \max}$ і стає значення швидкості зношування $I_{V \text{уст}}$ після завершення перехідного процесу, величина початкового збільшення сили тертя F_0 при прикладенні вхідного впливу до трибосистеми; максимальне значення сили тертя під час перехідного процесу F_{mpmax} і стає значення сили тертя $F_{\text{mpуст}}$ після завершення перехідного процесу; час завершення перехідного процесу t_{np} ; час, коли сила тертя досягає максимального значення t_{max} ; час t^* , коли похідна функції $F_{\text{mp}}(t)$ змінює свій знак.

Математичний опис залежностей параметрів: $I_{V \text{уст}}$, $I_{V \max}$, F_0 , F_{mpmax} , $F_{\text{mpуст}}$, t_{np} , t_{max} , t^* від досліджуваних факторів ($\frac{N \cdot V}{K_{\phi}} = W$), (α), ($A_{\text{усп}} \cdot Q = A_y$)

представляється у вигляді кількісних співвідношень, що зв'язують поточні значення вихідної функції з контрольованими змінними. Інформаційною основою для отримання математичного опису є статистичні дані, отримані в результаті спеціально організованого експерименту.

План-матриця охоплює різні поєднання матеріалів в реальних вузлах тертя, наприклад таких як: сталь по сталі $\alpha = 0,3 \cdot 10^3$ $\text{дБ}/\text{м}$; чавун по чавуну $\alpha = 0,5 \cdot 10^3$ $\text{дБ}/\text{м}$; сталь по чавуну $\alpha = 1 \cdot 10^3$ $\text{дБ}/\text{м}$; чавун по бронзі $\alpha = 0,7 \cdot 10^3$ $\text{дБ}/\text{м}$; сталь по бронзі $\alpha = 1,3 \cdot 10^3$ $\text{дБ}/\text{м}$; які визначалися фактором α , $\text{дБ}/\text{м}$.

Випробування проводилися на трьох кінематичних схемах: «диск-диск», $K_\phi = 0,50$ 1/м; «диск-колодка», $K_\phi = 1,52$ 1/м; «кільце-кільце», $K_\phi = 8,18$ 1/м і $K_\phi = 16,3$ 1/м, тобто здійснювалося застосування вищих і нижчих кінематичних схем контакту.

Умови експерименту: навантаження на вузлі тертя $N = 364; 480; 730; 980$ Н; швидкість ковзання $V = 0,5$ м/с. Перераховані поєднання параметрів визначені фактором $\frac{N \cdot V}{K_\phi} = W$, Вт·м.

В якості робочого (змащувального) середовища застосовувалися такі рідини: авіаційний керосин ТС – 1; гідравлічна рідина АМГ–10; олива ВНИИНП 403, які подавалися в зону тертя з різною витратою. Перераховані параметри визначені фактором $A_{yep} \cdot Q$, який змінювався в межах від $0,48 \cdot 10^{13}$ до $7,2 \cdot 10^{13} \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}$.

Використовуючи об'єднані комплекси як незалежні фактори, отримані регресійні рівняння третього ступеня, що відображають функціональний зв'язок між параметрами перехідного процесу і незалежними факторами - об'єднаними комплексами.

З аналізу рівнянь встановлено, що на динаміку перехідного процесу, в першу чергу, впливають умови навантаження і масштабний фактор трібосистеми, потім релаксаційні властивості матеріалів трібоелементів і в меншій мірі змащувальне середовище, що необхідно враховувати при розробці режимів обкатки машин.

Отримані регресійні рівняння дозволяють розрахувати коефіцієнти підсилення в диференційних рівняннях, що описують перехідний процес в трібосистемах.

В четвертому розділі визначені критерії оцінки перехідних процесів в трібосистемах та виконано аналіз їх ступеня впливу на цей процес.

Рішення диференційних рівнянь для моделювання перехідних процесів в трібосистемах мають вигляд:

- для швидкості зношування:

$$\bar{I}_V(t) = k_1 \cdot (1 - k_2(1 - \exp(-t/T_1))) \cdot \dot{\pi}_t, \quad (7)$$

- сили тертя:

$$\bar{F}_{mp}(t) = k_1 \cdot (1 - k_2(1 - \exp(-t/T_1))) + k_3(1 - \exp(-t/T_2)) \cdot \dot{\pi}_t, \quad (8)$$

$$\text{де } \bar{I}_V = \frac{I_{V \text{ тек}} - I_{V \text{ баз}}}{I_{V \text{ баз}}}, \quad \bar{F}_{mp} = \frac{F_{mp \text{ тек}} - F_{mp \text{ баз}}}{F_{mp \text{ баз}}}, \quad \dot{\pi}_t = \frac{N^{\frac{2}{3}} \cdot V^{\frac{2}{3}} \cdot \alpha^{\frac{7}{3}}}{A_{yep}^{\frac{1}{3}} \cdot Q^{\frac{1}{3}} \cdot K_\phi^{\frac{2}{3}}},$$

$I_{V \text{ тек}}$ і $F_{mp \text{ тек}}$ – поточне значення параметра під час перехідного процесу;

$I_{V \text{ баз}}$ і $F_{mp \text{ баз}}$ – базове значення параметра, за яке вибирають мінімальні значення швидкості зношування і сили тертя на сталому режимі.

Застосовуючи регресійні залежності, отримані в третьому розділі, можна розрахувати коефіцієнти K_i і T_i :

- для моделювання швидкості зношування:

$$K_{II} = \frac{(I_{v\max} - I_{v\text{баз}})}{I_{v\text{баз}}} \cdot \frac{\dot{\pi}_{t\text{баз}}}{(\dot{\pi}_{t\text{тек}} - \dot{\pi}_{t\text{баз}})}, \quad (9)$$

$$K_{2I} = \frac{(I_{v\max} - I_{v\text{уст}})}{(I_{v\max} - I_{v\text{баз}})} \cdot \frac{\dot{\pi}_{t\text{баз}}}{(\dot{\pi}_{t\text{тек}} - \dot{\pi}_{t\text{баз}})}, \quad (10)$$

$$T_{II} = \frac{t_{\text{пр}}}{3}, \quad (11)$$

- для моделювання сили тертя:

$$K_{IF} = \frac{(F_0 - F_{\text{пр.баз}})}{F_{\text{пр.баз}}} \cdot \frac{\dot{\pi}_{t\text{баз}}}{(\dot{\pi}_{t\text{тек}} - \dot{\pi}_{t\text{баз}})}, \quad (12)$$

$$K_{2F} = \frac{\bar{F}_{\text{пр.макс}} - b\bar{F}_{\text{тр.уст}} + K_{IF}\dot{\pi}_t(b-1)}{K_{IF}\dot{\pi}_t(b-a)}, \quad (13)$$

де $a = 1 - e^{-\left(\frac{t_{\max}}{T_{IF}}\right)}$, $b = 1 - e^{-\left(\frac{t_{\max}}{T_{2F}}\right)}$, $T_{IF} = \frac{t_{\text{пр}}}{3}$, $T_{2F} = \frac{t^*}{3}$.

$$\dot{\pi}_{t\text{тек}} = \frac{N_{\text{тек}}^{2/3} \cdot V_{\text{тек}}^{2/3} \cdot \alpha_{\text{тек}}^{7/3}}{(A_{\text{уср.тек}} \cdot Q_{\text{тек}})^{1/3} \cdot K_{\text{ф.тек}}^{2/3}}, \quad \dot{\pi}_{t\text{баз}} = \frac{N_{\text{баз}}^{2/3} \cdot V_{\text{баз}}^{2/3} \cdot \alpha_{\text{баз}}^{7/3}}{(A_{\text{уср.баз}} \cdot Q_{\text{баз}})^{1/3} \cdot K_{\text{ф.баз}}^{2/3}}. \quad (14)$$

Розрахунковим шляхом за наведеними вище формулами були отримані залежності коефіцієнтів підсилення і постійних часу від вхідного впливу на трібосистему, рис. 5 – 7.

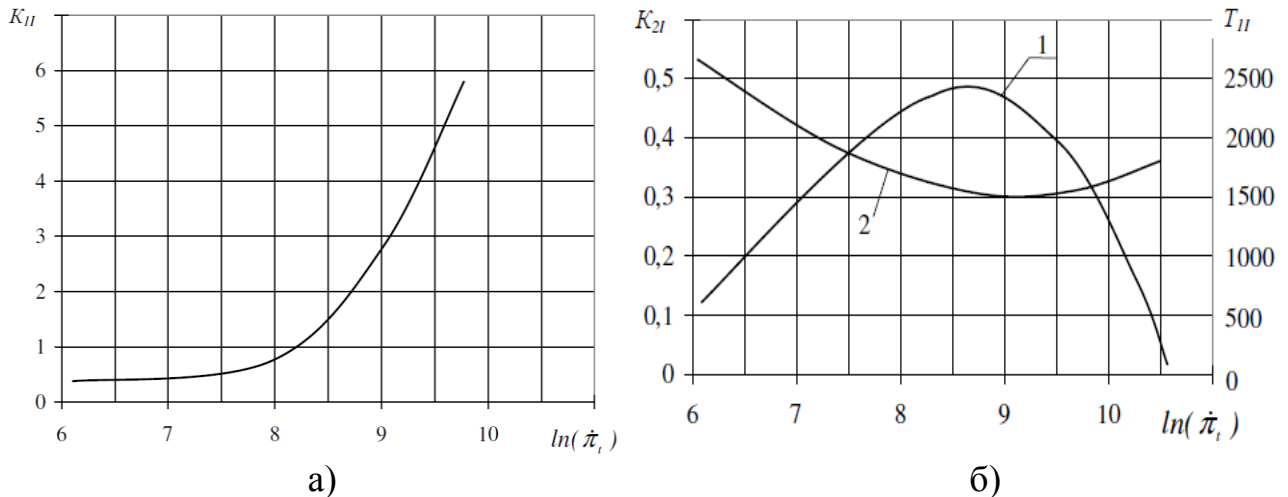


Рис. 5. Залежність коефіцієнтів підсилення K_{II} (а), K_{2I} (б) і постійної часу T_{II} від величини логарифму вхідного впливу ($\dot{\pi}_t$) при моделюванні швидкості зношування: 1 – коефіцієнт підсилення K_{2I} ; 2 – постійна часу T_{II}

Встановлено, що коефіцієнт підсилення K_{II} і K_{IF} визначає чутливість трібосистеми до збурень. При певній величині вхідного впливу $\ln(\dot{\pi}_t)$ настає швидке зростання K_{II} і, як наслідок, пошкодження, тобто «задир». Значення вхідного впливу, після якого починається швидке зростання K_{II} , визначає діапазон експлуатації трібосистеми, перевищувати який не бажано.

Коефіцієнт підсилення K_{2I} і K_{2F} визначає значення величини швидкості зношування після завершення припрацювання. Існує оптимальне значення величини вхідного впливу $\dot{\pi}_t$, при якому процес припрацювання буде оптимальним, тобто величина швидкості зношування після завершення процесу

буде мінімальною, це впливає з рішення диференціальних рівнянь (7) і (8), і час для завершення процесу теж буде мінімальним, рис. 5, 7. Тому на етапі проектування трібосистем необхідно прагнути до оптимальних значень K_{2I} , K_{2F} і T_{1I} , T_{1F} . Змінювати ці коефіцієнти, як впливає з формул (10) і (14), можна за допомогою параметра $\dot{\pi}_{i\text{мек}}$, а, отже: матеріалами, змащувальним середовищем, геометрією вузла, навантаженням та швидкістю ковзання. По оптимальному значенню $\dot{\pi}_i$, яке визначається розрахунковим шляхом за формулами (14), можна визначити параметри, для проведення процесу припрацювання трібосистеми. Ця величина на графіках 5, 7 відповідає оптимумам K_{2I} , K_{2F} і T_{1I} , T_{1F} .

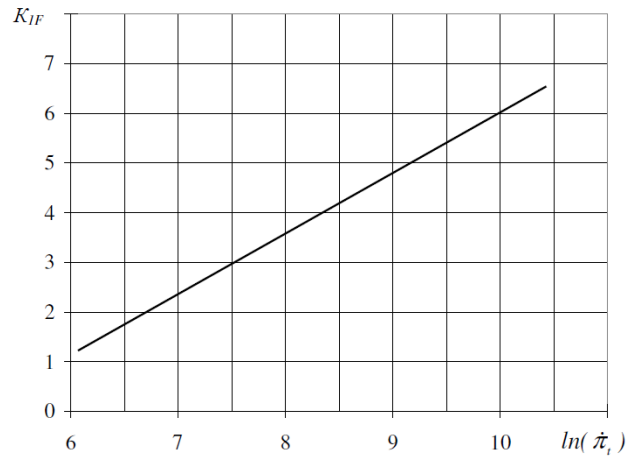


Рис. 6. Залежність коефіцієнта підсилення K_{1F} від величини вхідного впливу $\ln(\dot{\pi}_i)$

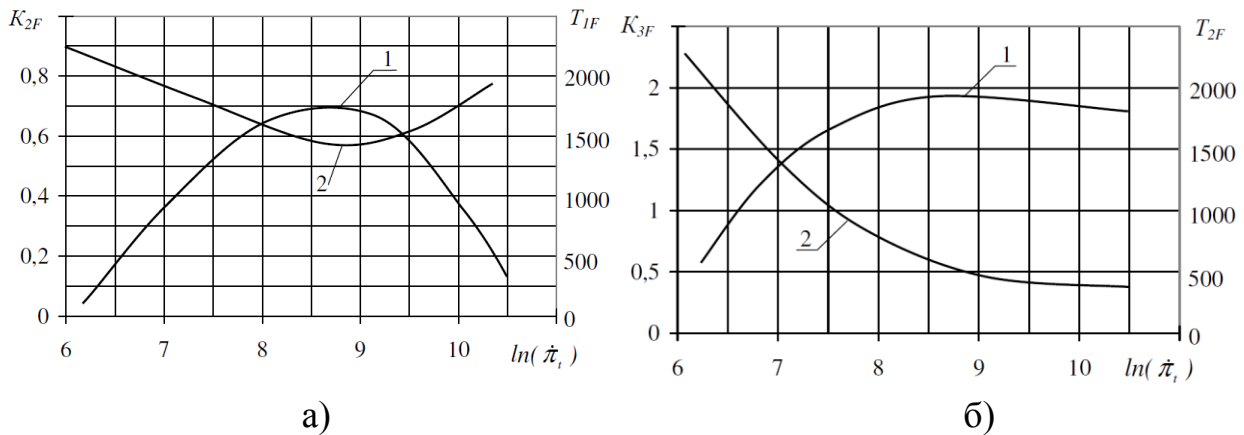


Рис. 7. Залежність коефіцієнтів підсилення K_{2F} (а), K_{3F} (б) і постійних часу T_{1F} , T_{2F} від величини вхідного впливу $\ln(\dot{\pi}_i)$: 1 – коефіцієнт підсилення K_{2F} , K_{3F} ; 2 – постійна часу T_{1F} і T_{2F}

Коефіцієнт підсилення K_{3F} і постійна часу T_{2F} визначають величину максимального значення забросу сили тертя в процесі припрацювання. Збільшення K_{3F} сприяє зменшенню T_{2F} і характеризує механічні втрати в трібосистемах в процесі припрацювання.

У п'ятому розділі наведені результати математичного моделювання перехідних процесів в трібосистемах.

Структура методики математичного моделювання складається з наступних послідовних блоків. Перший блок, на підставі завдання на

проектування нової машини, досвіду проектування і досвіду експлуатації визначаються вхідні параметри трібосистеми. До таких параметрів належать: сумісність матеріалів у трібосистемах - α ; геометричні розміри - K_ϕ ; змащувальне середовище - $A_{y_{cp}}$ і його витрати через вузол тертя - Q ; діапазон зміни навантаження - N і швидкості ковзання - V . Перераховані параметри становитимуть вхідний вплив на трібосистему. Вхідний вплив можна виражати через узагальнений критерій $\dot{\pi}_{i_{max}}$, який розраховується по формулі (14).

У другому блоці методики побудовані залежності: $K_i = f(\dot{\pi}_i)$, $T_i = f(\dot{\pi}_i)$.

Розрахунки проводяться на підставі регресійних залежностей, отриманих в третьому розділі, за допомогою яких визначаються коефіцієнти диференціальних рівнянь, тобто постійні часу T_i і коефіцієнти підсилення K_i по формулам (9) – (14).

У третьому блоці на основі отриманих залежностей визначені оптимальні режими припрацювання і подальшої експлуатації спроектованої трібосистеми і мають характерні оптимуми, як зазначено на рис. 5 і 7. По оптимальному значенню $\dot{\pi}_{i_{opt}}$ з формули (14) можна визначити навантаження і швидкість ковзання для проведення припрацювання.

Режими подальшої експлуатації визначали по залежності, рис. 5. Навантаження і швидкість ковзання мають бути такими, щоб не перевищувати значення $\dot{\pi}_i$, після якого починається прискорене зростання коефіцієнта K_{II} .

Четвертий блок – побудова кривих перехідного процесу: $I_v = f(t)$, $F_{mp} = f(t)$.

Криві перехідного процесу будуються на підставі рішення диференціальних рівнянь (7) і (8) та з коефіцієнтами K_i і T_i , що відповідають $\dot{\pi}_{i_{opt}}$.

П'ятий блок методики визначає величину зносу за час проведення припрацювання. Сумарний знос за припрацювання h_{np} можна визначити інтегруванням функції:

$$h_{np} = \int_0^{t_{np}} I_v(t) dt,$$

в межах від початку припрацювання $t=0$, до завершення припрацювання $t=t_{np}$.

З урахуванням того, що вид функції невідомий, сумарний знос можна визначити як суму малих доданків I_{vi} на ділянках розбиття t_i на інтервалі від $t=0$ до $t=t_{np}$, тобто:

$$h_{np} = \sum_{i=1}^n (I_{vi} t_i),$$

де n - число розбиття часу припрацювання на ділянки.

Шостий блок методики визначає величини швидкості зношування $I_{v_{ycm}}$ і сили тертя $F_{mp_{ycm}}$ на сталому режимі, тобто після завершення припрацювання. Визначення цих величин отримують з рішення диференціальних рівнянь (7) і (8) при $t > t_{np}$.

Сьомий блок методики розраховує ресурс трібосистеми, що проектується з урахуванням лінійного зносу за припрацювання.

Якщо відомий граничний знос Δ_n , при досягненні якого експлуатація трібосистеми припиняється, то ресурс трібосистеми можна визначити за виразом:

$$t_{\text{э}} = \frac{\Delta_n \cdot A_{\text{мп}}}{I_{V_{\text{усм}}}(N, V) - \frac{\sum_{i=1}^n (I_{V_i} t_i)}{I_{V_{\text{усм}}}(N, V)}}, \quad (15)$$

де $A_{\text{мп}}$ - площа тертя, м²; $I_{V_{\text{усм}}}(N, V)$ - функція швидкості зношування, яка залежить від N і V , визначається за регресійними залежностями, отриманими в третьому розділі.

Величину механічних втрат на сталому режимі визначають за величиною $F_{\text{мп}_{\text{усм}}}$, яка розраховується з рішення диференційного рівняння (8) при $t > t_{\text{пр}}$.

Якщо отримані значення величини ресурсу $t_{\text{э}}$ і механічних втрат на тертя $F_{\text{мп}}$ не задовольняють завданням на проектування, конструктор може їх змінювати шляхом зміни вхідних параметрів трібосистеми, які відображені в блоці 1. Після заміни вхідних параметрів процедура моделювання повторюється, як викладено вище.

Для підтвердження достовірності моделювання за розробленою методикою була обрана лабораторна трібосистема з наступними параметрами: кінематична схема «кільце-кільце», коефіцієнт форми $K_{\phi}=1,52$ 1/м; сумісність матеріалів, сталь 40Х + бронза Бр.АЖ 9-4, $\alpha=1,3 \cdot 10^3$ дВ/м; змащувальне середовище ВНИИП-403 з урахуванням витрат через вузол тертя $(A_{\text{усп}} \cdot Q) = 7,2 \cdot 10^{13} \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}$; швидкість ковзання 0,5 м/с; навантаження від 200 Н до 1200 Н.

Результати розрахунків за формулами (9) - (14) представлені на рис. 8, 9.

Графік перехідного процесу, рис. 10, наведено для оптимального режиму припрацювання лабораторної трібосистеми, який дорівнює 800Н. Для підтвердження адекватності моделі експериментальним даним на графіку, крім розрахункових кривих нанесені експериментальні криві.

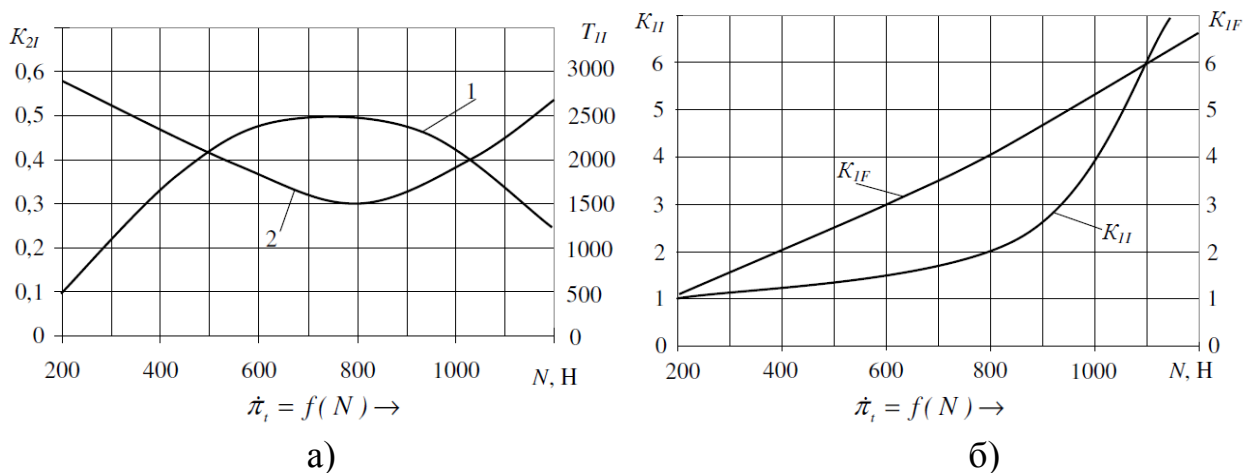


Рис. 8. Залежність коефіцієнтів K_{2I} , T_{II} (а) та K_{II} , K_{IF} (б) від величини вхідного впливу $\dot{\pi}_i$, яке характеризується зміною навантаження N : 1 – K_{2I} , 2 – T_{II} .

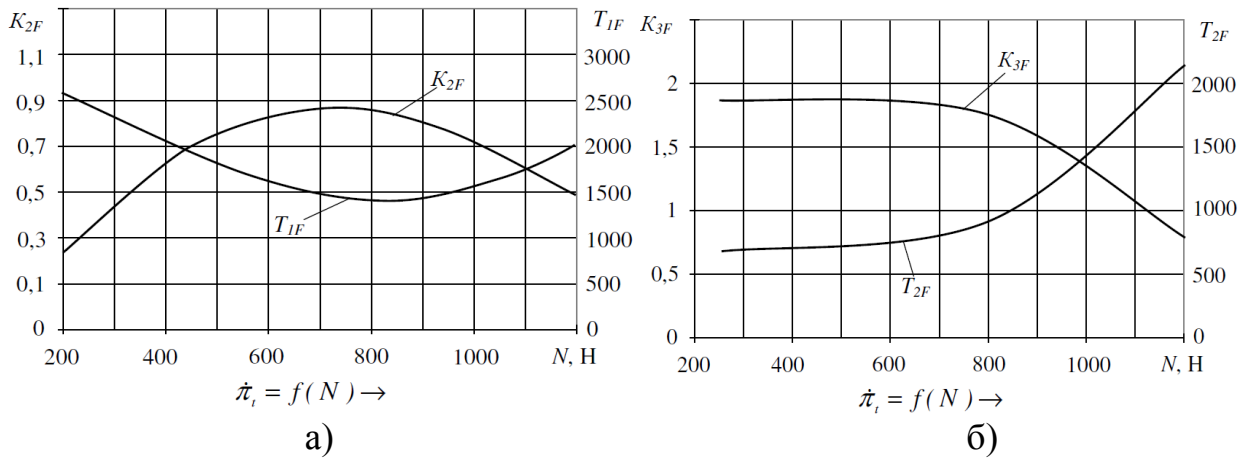


Рис. 9. Залежність K_{2F} , і T_{1F} (а), K_{3F} і T_{2F} (б) від величини вхідного впливу на трібосистему

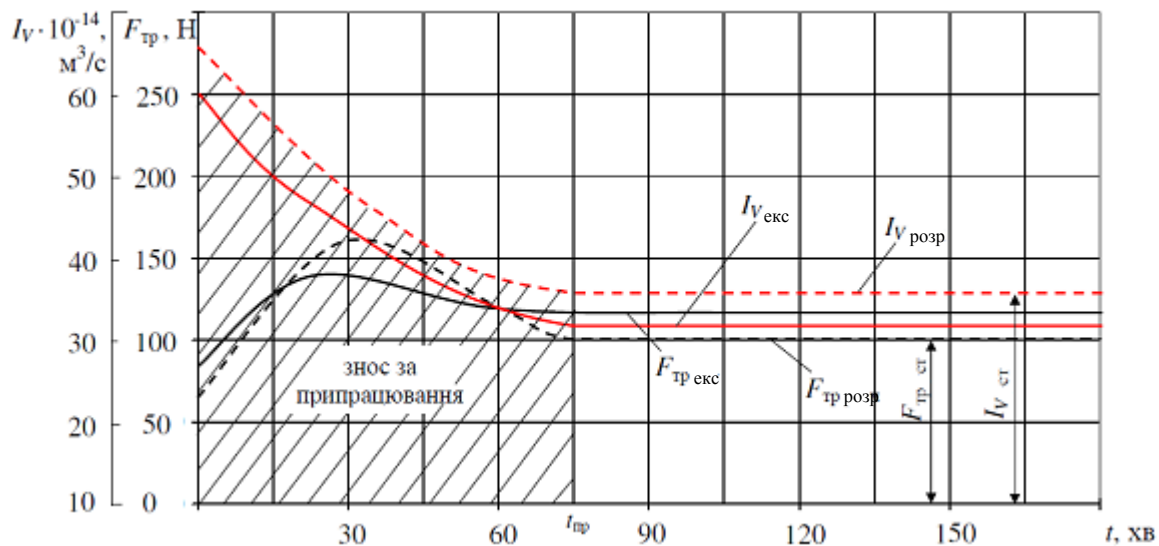


Рис. 10. Перехідні характеристики швидкості зношування I_V і сили тертя F_{tr} в часі t для оптимального вхідного впливу $\dot{\pi}_{t_{opt}}$, яке відповідає навантаженню 800Н

Результати моделювання представлені в дисертаційній роботі і розрахована похибка моделювання, яка становить 9,3...13%.

Розроблена технологія обкатки гідронасосу НП-96М, яка впроваджена на підприємствах «Дніпропетровський агрегатний завод» та «Державне підприємство Харківське агрегатне конструкторське бюро» на етапі проектування та обкатки гідромашин з економічним ефектом 95 тис. грн. на рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі - розробка методів моделювання перехідних процесів в трібосистемах на етапі проектування нових машин. Результати моделювання дають можливість спрогнозувати ресурс і вибрати раціональні режими обкатки і експлуатації.

1. Аналіз публікацій присвячених моделюванню процесів тертя і зношування в трібосистемах машин, а також методам та методикам розрахунку і прогнозування ресурсу показав, що моделюванню перехідних процесів

(обкатки, припрацювання) приділено недостатню увагу. В основному в роботах розглядаються сталі режими. При цьому, з аналізу робіт слідує, що знос за припрацювання дорівнює зносу за період експлуатації. Тому облік величини зносу за час обкатки є необхідною ланкою в методиках і методах розрахунку на зносостійкість на етапі проектування нових машин.

2. Обґрунтований і обраний метод акустичної емісії для вивчення перехідних процесів в трібосистемах. Для визначення максимальних значень швидкості зношування під час перехідного процесу, а також сталого значення після завершення перехідного процесу, визначені інформативні параметри - дисперсія амплітуд і спектральна потужність сигналів. Експериментальним шляхом встановлено, що спектральна потужність корелює зі швидкістю зношування, з коефіцієнтом кореляції $R=0,98$, а дисперсія - $R=0,96$. Отримані залежності швидкості зношування трібосистем від спектральної потужності, які дозволяють по значеннях сигналів акустичної емісії визначати знос за припрацювання. Розрахунок значення критерія Кохрена при довірчій вірогідності 0,95 показав, що результати реєстрації сигналів відтворювані.

3. На підставі аналізу параметрів, що характеризують перехідний процес в трібосистемах, отримані і обґрунтовані три об'єднаних комплекси, що характеризують: умови навантаження і масштабний фактор трібосистеми; релаксаційні властивості структури сполучених матеріалів та їх сумісності між собою; змащувальне середовище і його витрата через вузол тертя. Дані комплекси формують вхідний вплив (збурення) на трібосистему в процесі моделювання.

4. Використовуючи об'єднані комплекси як незалежні фактори при плануванні експерименту, отримані регресійні рівняння, що відображають функціональний зв'язок між параметрами перехідного процесу в трібосистемі і експлуатаційним впливом на трібосистему. З аналізу рівнянь встановлено, що на динаміку перехідного процесу, в першу чергу, впливають умови навантаження і масштабний фактор трібосистеми, потім релаксаційні властивості матеріалів трібоелементів і меншою мірою змащувальне середовище, що необхідно враховувати при розробці режимів обкатки машин.

5. Встановлено, що на динаміку процесу припрацювання крім відомих раніше параметрів, таких як: максимальний заброс сили тертя; стале значення сили тертя та швидкості зношування після завершення процесу припрацювання; а також час припрацювання, характеризують наступні параметри: початковий заброс сили тертя; максимальне значення швидкості зношування; час, коли $F_{mp}(t)$ змінює свій знак. Перераховані параметри дозволяють отримати залежності коефіцієнтів підсилення і постійних часу, а відповідно визначити раціональні режими припрацювання та експлуатації.

6. Визначено і фізично обґрунтовано критерії оцінки перехідних процесів в трібосистемах, в якості яких виступають коефіцієнти підсилення і постійні часу диференціальних рівнянь. Встановлено, що коефіцієнти підсилення K_1 визначають реакцію трібосистеми на збурення. Чим більше значення коефіцієнтів K_1 , тим більше збільшення швидкості зношування і сили тертя під час перехідного процесу. Великі значення цих параметрів приведуть до втрати стійкості трібосистеми, тобто до переходу від нормального зносу до

пошкодження. Показано, що за величиною коефіцієнта K_1 можна визначити діапазон експлуатації трібосистем. Коефіцієнти підсилення K_2 , а також постійні часу T_1 визначають режими раціонального припрацювання трібосистем. Припрацьовуючи трібосистему на режимах, що відповідають K_{2opt} і T_{1opt} , будуть забезпечені мінімальні значення швидкості зношування і сили тертя після завершення припрацювання і мінімальний час припрацювання, що сприяє збільшенню ресурсу в процесі подальшої експлуатації. Коефіцієнти підсилення K_3 і постійна часу T_2 доповнюють характер поведінки трібосистеми, який визначається коефіцієнтами K_2 і T_1 . Доповнення полягає у визначенні величини максимального забросу сили тертя в процесі припрацювання, тобто характеризує механічні втрати на тертя в процесі припрацювання.

7. Розроблено структуру методики математичного моделювання перехідних процесів в трібосистемах, що складається з послідовно виконуваних блоків. Методика дозволяє визначати ресурс і механічні втрати на тертя трібосистем, що проектується без проведення попередніх експериментів. При цьому, ресурс трібосистем визначається з урахуванням зносу за припрацювання, що є істотною відмінністю від усіх раніше існуючих розрахункових моделей і методик. Методика дозволяє визначати оптимальні режими припрацювання і подальшої експлуатації трібосистем, що проектується. Адекватність розробленої методики підтверджена на лабораторних моделях і натурних трібосистемах аксіально-поршневого гідронасосу. Помилка моделювання для розрахунку швидкості зношування становить 9,3%, а для сили тертя – 13%.

8. На підставі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розроблена технологія обкатки трібосистем аксіально-поршневого гідронасосу НП-96М, яка дозволила скоротити час обкатки з 180 хвилин до 150 хвилин, збільшивши ресурс на 21,6%. Економічний ефект від вибору раціональних режимів обкатки гідронасосу склав 95 тис. грн. на рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У фахових виданнях

1. Козырь А. Г. Методика моделирования переходных процессов в трибосистемах машин / А. Г. Козырь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 134: Технічний сервіс машин для рослинництва. – С. 139 – 146.

2. Козырь А. Г. Обоснование и выбор критериев моделирования скорости изнашивания на переходных режимах / В. А. Войтов, А. Г. Козырь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 136: Системотехніка і технології лісового комплексу. Транспортні технології. – С. 247 – 256.

3. Козырь А. Г. Методика оценки износостойкости и надежности трибосистем на неустановившихся режимах работы / В. А. Войтов, А. Г. Козырь // Вісник Харківського національного технічного університету

сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 139: Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – С. 12 – 18.

4. Козырь А. Г. Критерии моделирования силы трения на переходных режимах / В. А. Войтов, А. Г. Козырь // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 26: Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – С. 41 – 47.

5. Козырь А. Г. Моделирование переходных процессов в трибосистемах. Часть 1. Критерии оценки переходных процессов / В. А. Войтов, А. Г. Козырь // Проблеми трибології. – 2013. – № 3. – С. 114 – 122.

6. Козырь А. Г. Моделирование переходных процессов в трибосистемах. Часть 2. Методика моделирования переходных процессов / В. А. Войтов, А. Г. Козырь, И. И. Сысенко // Проблеми трибології. – 2013. – № 4. – С. 25 – 32.

Матеріали і тези конференцій

7. Козырь А. Г. Методический подход при моделировании процесса приработки трибосистем / В. А. Войтов, А. Г. Козырь, И. И. Сысенко // Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: IX міжнар. наук.-практ. конф., 7 – 8 листопада 2013 р.: матеріали. – Кіровоград, 2013. – С. 179 – 181.

У закордонних виданнях

8. Козырь А. Г. Моделирование переходных процессов в трибосистемах машин и механизмов на этапе проектирования новой техники / В. А. Войтов, А. Г. Козырь // Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве. – Минск: БГАТУ, 2013. – Ч. 2. – С. 113 – 118.

АНОТАЦІЯ

Козир А.Г. Моделювання перехідних процесів тертя та зношування в трибосистемах гідромашин. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах. – Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка Міністерства аграрної політики та продовольства України, Харків, 2014.

Дисертаційна робота спрямована на розробку методів моделювання перехідних процесів в трибосистемах на етапі проектування нових машин.

Обґрунтовано і обрано метод акустичної емісії для вивчення перехідних процесів в трибосистемах. Для визначення максимальних значень швидкості зношування під час перехідного процесу визначені інформативні параметри – дисперсія амплітуд та спектральна потужність сигналів акустичної емісії.

Визначено і фізично обґрунтовано критерії оцінки перехідних процесів в трибосистемах, в якості яких виступають коефіцієнти підсилення і постійні часу диференціальних рівнянь. Встановлено, що коефіцієнти підсилення K_1 визначають реакцію трибосистеми на збурення.

Коефіцієнти підсилення K_2 , а також постійні часу T_1 визначають режими раціонального припрацювання трибосистем.

Коефіцієнти підсилення K_3 і постійна часу T_2 доповнюють характер поведінки трібосистеми. Доповнення полягає у визначенні величини максимального забросу сили тертя в процесі припрацювання.

Розроблено методику математичного моделювання перехідних процесів в трібосистемах, яка дозволяє визначати ресурс і механічні втрати на тертя трібосистем, що проектуються.

Ключові слова: трібосистема, швидкість зношування, сила тертя, моделювання перехідних процесів, знос за припрацювання, режими припрацювання.

АННОТАЦІЯ

Козырь А.Г. Моделирование переходных процессов трения и изнашивания в трибосистемах гидромашин. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – трение и износ в машинах. – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко Министерство аграрной политики и продовольствия Украины, Харьков, 2014.

Диссертационная работа направлена на разработку методов моделирования переходных процессов в трибосистемах на этапе проектирования новых машин.

Обоснован и выбран метод акустической эмиссии (АЭ) для изучения переходных процессов в трибосистемах. Для определения максимальных значений скорости изнашивания во время переходного процесса, а также установившегося значения после завершения переходного процесса определены информативные параметры – дисперсия амплитуд и спектральная мощность сигналов АЭ.

Определены и физически обоснованы критерии оценки переходных процессов в трибосистемах, в качестве которых выступают коэффициенты усиления и постоянные времени дифференциальных уравнений. Установлено, что коэффициенты усиления K_1 определяют реакцию трибосистемы на возмущение. Большие значения K_1 приведут к потере устойчивости трибосистемы, т.е. к переходу от нормального износа к повреждаемости.

Коэффициенты усиления K_2 , а также постоянные времени T_1 определяют режимы рациональной приработки трибосистем. Прирабатывая трибосистему на режимах, соответствующих K_{2opt} и T_{1opt} , будут обеспечены минимальные значения скорости износа и силы трения после завершения приработки и минимальное время приработки.

Коэффициент усиления K_3 и постоянная времени T_2 дополняют характер поведения трибосистемы. Дополнение заключается в определении величины максимального заброса силы трения в процессе приработки.

Разработана структура методики математического моделирования переходных процессов в трибосистемах, состоящая из последовательно выполняемых блоков. Методика позволяет определять ресурс и механические потери на трение проектируемых трибосистем без проведения предварительных экспериментов. При этом, ресурс трибосистем определяется с

учетом износа за приработку. Методика позволяет определять оптимальные режимы приработки и последующей эксплуатации проектируемых трибосистем.

Ключевые слова: трибосистема, скорость изнашивания, сила трения, моделирование переходных процессов, износ за приработку, режимы приработки.

ABSTRACT

Kozyr A.G. Simulation of the transient processes of friction and wear in the tribosystems of hydromachines. – Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Mechanical Engineering, Speciality 05.02.04. – Friction and Wear in Machines. – Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ministry of agrarian policy and food of Ukraine, Kharkiv, 2014.

The thesis deals with developing of the methods for modeling of transient processes in tribosystem at the design stage of new machines.

Substantiated and chosen the method of acoustic emission (AE) for the study of transient processes in tribosystems. For determining the maximum values of the wear rate during the transient process and steady-state value after the completing of the transient process, informative parameters were determined - amplitude of the dispersion and spectral power of AE signals.

Identified and physically determined evaluation criteria of transient processes in tribosystems which serves the amplification factor and the time constants of differential equations. It has been established that the amplification factor K_1 determine the reaction of the tribosystems disturbance. Larger values of K_1 will result in a loss of stability of the tribosystem, the transition from normal wear to the damageability.

The amplification factors K_2 , and time constant T_1 determine rational wearing-in modes of the tribosystem. Wear-in the tribosystem on the modes, that corresponds to K_{2opt} and T_{1opt} , will be provided with the minimum values of wear rate and the friction force after the wear-in and minimal wear-in.

The amplification factor K_3 and time constant T_2 complement the character of the tribosystem behavior. Complement consists in determining the value of maximum friction force in the casting during the wear-in.

Designed the structure of the method of mathematical simulation of transient processes in the tribosystem consisting of consecutively executed blocks. Method allows to identify the resource and mechanical friction losses of the designed tribosystems without preliminary experiments. At the same time, the resource of the tribosystems determined taking into account the wear for wear-in. Method allows to determine the optimal mode of wear-in and subsequent operation of the designed tribosystems.

Key words: tribosystem, wear rate, frictional force, transient simulation, excessive ware, wear-in modes.

Відповідальні за випуск Левкін А.В.
Комп'ютерний набір та верстка Постољна В.В.

Підписано до друку «26» серпня 2014р.
Формат паперу 60×84 1/16. Умов. друк. арк. 0,9. Папір офсетний 80 г/м.
Друк РІЗО. Тираж 150 пр. Замовлення № 382.

КП «Міська друкарня»
61002, м. Харків, вул. Артема 44
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3613 від 29.10.2013 р.