

Список літератури: 1. Гост 4.37-90 Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. 2. ОСТ2 Н06-35-84 Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. Оценка технического уровня и качества. М.: ВНИИТЭМР. – 1985. – 39 с. 3. Г. С. Антушев Методы параметрического синтеза сложных технических систем. М.: наука, 1989. – 88 с. 4. Попов Д.Н. Оценка эффективности и оптимальное проектирование гидроприводов // вест. Машиностроения. – 1986. – № 9. – с. 20 – 23. 5. Кабаков М.Г. Опыт комплексной оценки уровня качества аксиально-поршневых насосов гидроприводов самоходных машин // Вест. машиностроения. – 1979. – № 9. – с. 9 – 12. 6. Кондаков А.А. О критериях оценки технического уровня объемных гидравлических машин // Вест. машиностроения. – 1988. – № 9. – с. 12 – 15, 1988, № 10. – с. 5 – 9. 7. Лурье З. Я., Жерняк А. И., Саенко В. П. Многокритериальное проектирование шестеренных насосов с внутренним зацеплением // Вестник машиностроения. – 1996. – № 3. – С. 3–8. 8. Гавриленко Б. А., Минин В. А., Рождественский С. Н. Гидравлический привод. М.: Машиностроение. 1968. 502 с. 9. Основы теории и конструирования объемных гидропередач / Под об. ред. В.М.Прокофьева. М.: Высшая школа. 1968. 400с.

Подано до редколегії 20.11.08 р.

УДК 621.822.6

В.С.ГАПОНОВ, А.В. ГАЙДАМАКА

ЗАДАЧИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕСУРСУ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ЗАРЕЗОНАНСНИХ РОТОРНИХ СИСТЕМ

В статті пропонується загальний підхід та послідовність дій рішення проблеми забезпечення ресурсу підшипників кочення резонансних роторних систем шляхом зміни режиму тертя через покращення властивостей мастильного матеріалу і підтримання їх на потрібному рівні.

The article presents approach towards of the provision recourses of bearings behind the resonance of rotor systems thanks to improvement property's of greasing and support up to the mark.

Для багатьох високошвидкісних підшипників кочення, наприклад шпindelних вузлів шліфувальних верстатів та опор газотурбінних двигунів, причинами виходу з ладу є перегрівання і перевантаження зон контакту при переході роторної системи через резонансні частоти [1]. Ефективним шляхом зменшення термічної складової контактних напружень в підшипниках кочення вважається зміна режиму тертя через покращення властивостей мастила [2]. Аналіз публікацій з питань зміни режиму тертя через покращення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів для кінематичних вузлів за останні десять років виявив зростаючу тенденцію до застосування антифрикційних добавок та присадок [3-9].

Відома процедура підбору мастильних матеріалів для кінематичних вузлів з метою мінімізації тертя та зносу, в якій ефективність дії антифрикційних присадок та добавок оцінюють за величиною другої критичної температури [10]. Однак визначення другої критичної температури

пов'язано зі значними труднощами проведення спеціальних експериментів та отримання необхідної точності результатів. Тому в тій же роботі [10] покращення властивостей мастильних матеріалів шляхом додавання антифрикційних добавок та присадок пропонується оцінювати також за допомогою фізичного моделювання. Отож розробку алгоритмів, методів та моделей оцінки ефективності антифрикційних добавок та присадок до мастильних матеріалів треба вважати актуальним і важливим завданням рішення проблеми підвищення надійності підшипників кочення.

Мета цієї роботи полягає в розробці алгоритму забезпечення ресурсу підшипників кочення за рахунок зміни режиму тертя через покращення властивостей мастила і підтримання властивостей мастила на потрібному рівні впродовж заданого терміну.

Забезпечення ресурсу підшипників кочення повинно включати інформаційну підготовку, розробку методу покращення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів шляхом застосування антифрикційних добавок та присадок, розробку методу підтримки покращених властивостей мастильного матеріалу шляхом керування процесом змащування. Отож, для досягнення вказаної мети пропонується структурна схема послідовності рішення задач по забезпеченню потрібного ресурсу підшипників кочення, що складається з трьох етапів (рис. 1).

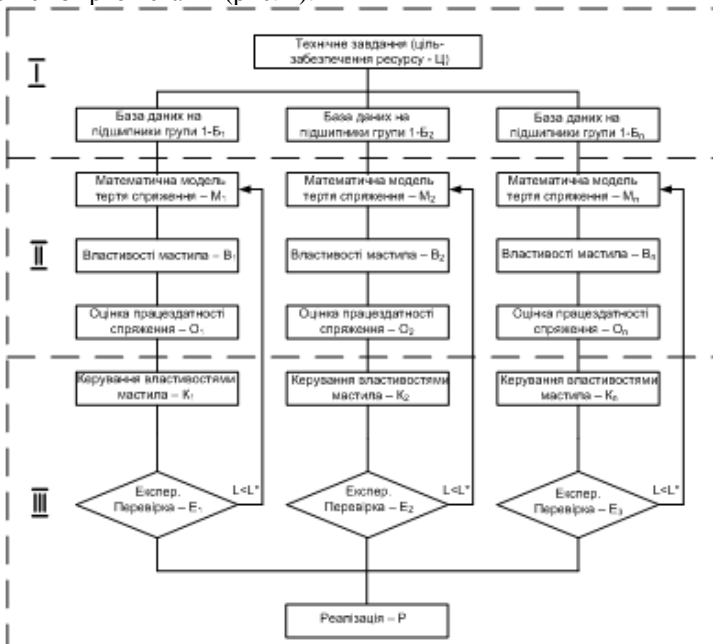


Рис. 1. Послідовність рішення задач забезпечення ресурсу підшипників кочення

Технічне завдання може включати множину цілей, які визначаються конкретною групою підшипників, конструкцією спряжень деталей,

характером пошкоджень. Наприклад, підвищення контактної витривалості поверхонь бігових доріжок кілець кулькових підшипників шліфувальних верстатів від сумісної дії відцентрового та термічного перевантажень – ціль перша (C_1), підвищення контактної витривалості поверхонь бігових доріжок кілець циліндричних роликотпідшипників газотурбінних двигунів від такої ж причини – ціль друга (C_2), і таке інше. Отож, узагальнена ціль забезпечення ресурсу підшипників кочення зарезонансних роторних систем може бути подана у вигляді:

$$C = \{C_1, C_2, \dots\}. \quad (1)$$

Завдання по утворенню бази даних на підшипники кочення включає відомості про конструкцію і особливості експлуатації, а саме: матеріали деталей (M_D), вид спряження (C_K), тип елементів (E_H) підвищення надійності (покращення подачі мастила, організація резервуарів мастила, утримання тіл кочення від випадання), тип навантаження - радіальне (H_P) чи осьове (H_O), вид навантаження - статичне (C_H) чи динамічне (D_H), частота обертання - постійна ($Ч_{OP}$) чи змінна ($Ч_{OЗ}$), мастильний матеріал (M_M), стан оточуючого середовища (O_C) і уявляється як:

$$B = \{M_D, C_K, E_H, H_P, H_O, C_H, D_H, Ч_{OP}, Ч_{OЗ}, M_M, O_C\}. \quad (2)$$

Технічне завдання та база даних утворюють перший підготовчий етап у забезпеченні ресурсу підшипників кочення (рис.1).

Завдання з отримання математичної моделі (M) процесу тертя та зносу трибоспряжень підшипників включає ціль та базу даних і має вигляд:

$$M = \{C, M_D, C_K, E_H, H_P, H_O, C_H, D_H, Ч_{OP}, Ч_{OЗ}, M_M, O_C\}. \quad (3)$$

Завдання з підбору властивості мастильного матеріалу (B) визначається в процесі моделювання температурою в контакті (t) та коефіцієнтом теплоізоляції (K_t) після додавання антифрикційних добавок (присадок) і подається як:

$$B = \{t, K_t\}. \quad (4)$$

Завдання з оцінки працездатності трибоспряження включає визначення коефіцієнту тертя (f) та інтенсивності зносу (I) за результатами моделювання і має вигляд:

$$O = \{f, I\}. \quad (5)$$

Оскільки основними компонентами етапу покращення властивостей мастильного матеріалу для підшипників кочення є множина цілей $C = \{C_1, C_2, \dots\}$, множина ознак мастила $M_M = \{M_{M1}, M_{M2}, \dots\}$, множина технічних рішень у вигляді властивостей мастила $B = \{B_1, B_2, \dots\}$, множина оцінок працездатності трибоспряження з новим мастилом $O = \{O_1, O_2, \dots\}$, то найкращі властивості мастила будуть досягнуті при умові:

$$(F : (\psi \circ \phi(M_1)) \rightarrow O) \rightarrow F_{OPT}, \quad (6)$$

де F - функція властивостей мастильного матеріалу; ϕ - бінарне відношення між елементами множини C і множини M_M , $\phi \subset (C \times M_M)$; ψ - бінарне відношення між елементами множини M_M і множини B , $\psi \subset (M_M \times B)$; M_1 - конкретна ціль з множини цілей, $M_1 \subset M$.

Остаточний вибір властивостей мастильного матеріалу здійснюється з урахуванням мінімальної собівартості їх отримання (C):

$$F_{OPT} = C_{\min}. \quad (7)$$

Математичні моделі, підбор властивості мастила та оцінка працездатності трибоспряжень утворюють другий етап забезпечення ресурсу підшипників кочення – моделювання процесів тертя та зносу деталей з метою покращення властивостей мастила (рис.1).

Етап підтримання покращених властивостей мастильного матеріалу (див. етап III на рис.1) потребує наявності процесу їх керування. Завдання з керування властивостями мастила подається у вигляді:

$$K = \{K_1, K_2, \dots\}. \quad (8)$$

Керування властивостями мастила повинно здійснюватись виходячи з наступних міркувань. Зношування робочих поверхонь підшипників залежить від складних процесів в контактi деталей, які визначаються умовами навантаження, кінематики, властивостями матеріалів деталей і мастила, а також особливостями оточуючого середовища. Доля впливу факторів тертя на стан мастильного матеріалу має невизначений характер. Тому відновлення необхідних властивостей мастила здійснюватиметься в умовах неповної інформації. Отож, найбільш прийнятним є керування властивостями мастила для підшипників кочення за схемою, що показана на рис. 2, згідно з відомим підходом [11].

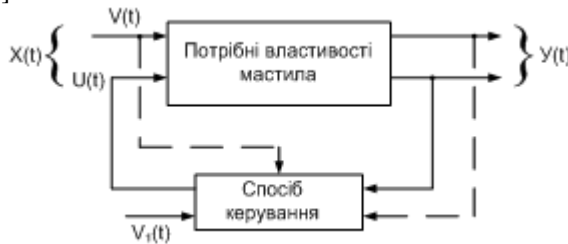


Рис. 2. Схематичне уявлення процесу керування властивостями мастильного матеріалу для підшипників кочення

Вихідний сигнал $Y(t)$ у вигляді потрібного ресурсу спряжень тертя розглядається як реакція на некеруємі $V(t)$ та керуємі $U(t)$ компоненти вхідного сигналу $X(t) = \{V(t), U(t)\}$. Некеруємі компоненти $V(t)$ - навантаження, швидкості, теплові та інші потоки оточуючого середовища;

керуємі компоненти $U(t)$ - кількість та склад легуючих елементів в мастильному матеріалі, частота введення добавок та присадок. Методи знаходження керуємої вхідної дії $U(t)$ і способи керування, а також результат керування в значній мірі визначаються інформацією про стан мастильного матеріалу.

Керування ресурсом може здійснюватись трьома способами: регулюванням, керуванням параметрами, керуванням структурою.

Регулювання застосовують, якщо суттєвим є дія неврахованих вхідних сигналів, або коли будь-які процеси на некеруємих вхідних сигналах $V(t)$ відрізняються від раніше прогнозуємих настільки, що система “сходе з потрібної траєкторії”. Тоді, спостерігаючи за реальною траєкторією $Y(t)$, знаходять величину $Y(t) - Y_0(t)$ і встановлюють додаткове до програмного керування, яке повинно повернути виходи системи на потрібну траєкторію $Y_0(t)$. Щодо забезпечення, наприклад втомної контактної міцності робочих поверхонь кілець і тіл кочення, “сходження системи з потрібної траєкторії” можна тлумачити як зміну режиму навантаження чи швидкості обертання. Це потребує зміни характеру обслуговування підшипникового вузла, тобто необхідно збільшити частоту введення антифрикційних добавок чи присадок до мастильного матеріалу в процесі експлуатації.

Якщо неможливо задати опорну програмну траєкторію на весь термін експлуатації чи ухилення від неї таке значне, що неможливо до неї повернутися, виконують прогнозування виду траєкторії $Y(t)$ і визначають можливість перетину траєкторії $Y(t)$ з областю цілей. Керування в цьому випадку зводять до регулювання параметрів системи доки не буде забезпечено вищезгадане перетинання. Така ситуація відповідає, наприклад суттєвій зміні режиму експлуатації підшипника, коли неможливо збільшенням частоти введення антифрикційних добавок чи присадок до мастильного матеріалу забезпечити потрібний ресурс. Тому необхідно додатково збільшити концентрацію антифрикційних добавок чи присадок в мастильному матеріалі при кожному їх введенні.

Серед можливих значень керуємих параметрів системи може не знайтися такого, що забезпечить перетин траєкторії з областю цілей. Це значить, що поставлена ціль не досяжна для такої системи. Однак, поставлена ціль може бути досяжна для іншої системи з другою організацією структури. По суті виникає задача пошуку системи з іншим складом елементів та структури, однак з однаковим вихідним сигналом $Y(t)$. Для забезпечення, наприклад втомної контактної міцності робочих поверхонь деталей, керування структурою може здійснюватися шляхом застосування антифрикційних добавок чи присадок з іншим складом легуючих елементів.

Практична реалізація покращеної мастильної композиції для конкретної групи підшипників кочення можлива після остаточної експериментальної перевірки її працездатності в умовах експлуатації машини. Таким чином, забезпечення ресурсу підшипників кочення шляхом зміни режиму тертя через покращення властивостей мастильного матеріалу та підтримання покращених властивостей мастила на потрібному рівні впродовж заданого терміну експлуатації уявляється ланцюгом взаємопов'язаних завдань:

$$Ц \rightarrow Б \rightarrow М \rightarrow В \rightarrow О \rightarrow К \rightarrow Е \rightarrow Р. \quad (9)$$

Висновки: 1.Робочі поверхневі шари переважної більшості високошвидкісних підшипників зарезонансних роторних систем потребують підвищення втомної контактної міцності та зменшення теплоутворення зон контакту. 2.Дотепер відсутній метод покращення і підтримання експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів для забезпечення ресурсу високошвидкісних підшипників кочення зарезонансних роторних систем. 3.Пропонується загальна схема рішення проблеми та конкретні завдання по забезпеченню ресурсу підшипників кочення зарезонансних роторних систем шляхом використання антифрикційних добавок та присадок до мастильних матеріалів. Запропонований алгоритм не обмежує кількість чинників аналізу, дозволяє залучати як числову так і якісну інформацію про характер функціонування трибоспряджень деталей, припускає можливість керування ресурсом підшипників.

Список літератури: 1.Опоры осей и валов машин и приборов./ Под ред. Н.А. Спицына, М.М. Машнева.- М.: Машиностроение. - 1970.- 520 с. 2.Гаркунов Д.Н. Триботехника (Конструирование, изготовление и эксплуатация машин).- М.: Машиностроение.- 2002.- 632 с. 3.Погодаев Л.И., Кузьмин В.Н., Дудко П.П. Повышение надёжности трибоспряджений. – СПб.:Академия транспорта РФ. -2001.-304с. 4.Лобова Т.А., Лобанов М.В., Чулков И.П., и др. Новые смазочные композиции с добавками порошков диселенидов молибдена и вольфрама // Вестник машиностроения. -2004.- №7. – с. 40-44. 5.Буяновский И.Я., Дроздов Ю.Н., Гостев Ю.В., и др.Антифрикционная ресурсовосстанавливающая композиция присадок для пластичных смазок // Вестник машиностроения. – 2005.- №7.- с.34-37. 6.Войтов В.А., Білик А.П., Сторожук В.В., та ін. Обгрунтування та оптимізація триботехнічної відновлювальної суміші для безрозбірного відновлення поверхонь тертя трибосистем // Проблеми трибології.- 2006.- №4.- с.33-39. 7.Лукиенко Л.В., Сёмочкин И.И., Хлапов В.Г. Анализ результатов модельных экспериментальных исследований металлолакирующей присадки к смазочным материалам // Вестник машиностроения.- 2007.- № 8.- с. 33-35. 8.Исхакова Е.П. Использование антифрикционных препаратов в промышленности // Вестник машиностроения. – 2007.- №12.- с.30-34. 9.Гайдамака А.В. Про ефективність нової технології підвищення довговічності підшипників // Вісник НТУ ХПІ. – 2007. -Вип.21.-с.144-146. 10.Справочник по триботехнике: В 3 т. Т.2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / Под общ. ред. М.Хебды, А.В.Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1990. – 416с. 11.Растринг Л.А. Случайный поиск в задачах оптимизации многопараметрических систем.- Рига, «Зинатне».- 1965.- 211 с.

Надійшла до редколегії 11.12.08