

Чернець М.* **

* Дрогобицький державний педагогічний університет ім. Івана Франка,
м. Дрогобич, Україна,
** Люблінський політехнічний інститут,
м. Люблін, Польща
E-mail: chernets@drohobych.net

ВПЛИВ ОГРАНЕННЯ ВАЛА НА ВАРІАЦІЮ МАКСИМАЛЬНИХ КОНТАКТНИХ ТИСКІВ У ПІДШИПНИКУ КОВЗАННЯ

УДК 539.538: 539.3

З використанням кумуляційної моделі зношування при терті ковзання проведено у підшипнику ковзання розрахункову оцінку впливу величини та виду технологічного огранення (овальності, тригранності, чотиригранності) вала на зміну максимальних контактних тисків (початкових та після допустимого зношування втулки). Встановлено закономірності зміни тисків під час обертання вала при реалізації однообластевого та мішаного (одно – дво – однообластевого) контакту. Результати досліджень подано графічно.

Ключові слова: підшипник ковзання, вал з технологічним ограненням, варіація контактних тисків

Підшипники ковзання належить найпоширеніших вузлів з тертям ковзання в машинобудуванні. При їх конструюванні належить проводити оцінку навантажувальної (несівної) здатності із застосуванням сучасних методів розрахунку. Відомо, що при виготовленні валів та втулок вони неминуче отримують мале технологічне огранення певного виду (овальність, тригранність чи чотиригранність), що слід враховувати при оцінці параметрів контактної і трибоконтактної взаємодії. У відомих методах [1 - 10 та ін.] ця важлива конструктивна обставина не враховується. У працях [11 - 20] досліджено якісний і кількісний вплив овальності вала на максимальні контактні тиски за різних схем взаємодії (повна однообластева та мішана – одно - дво - однообластева). Нижче наведено результати розв'язку цієї трибоконтактної задачі для підшипника із вищевказаним ограненням вала за узагальненою кумуляційною моделлю зношування [19, 20] при мішаному контакті.

Схеми підшипників з різним ограненням вала 2 та втулкою 1 наведено на рис. 1, 2.

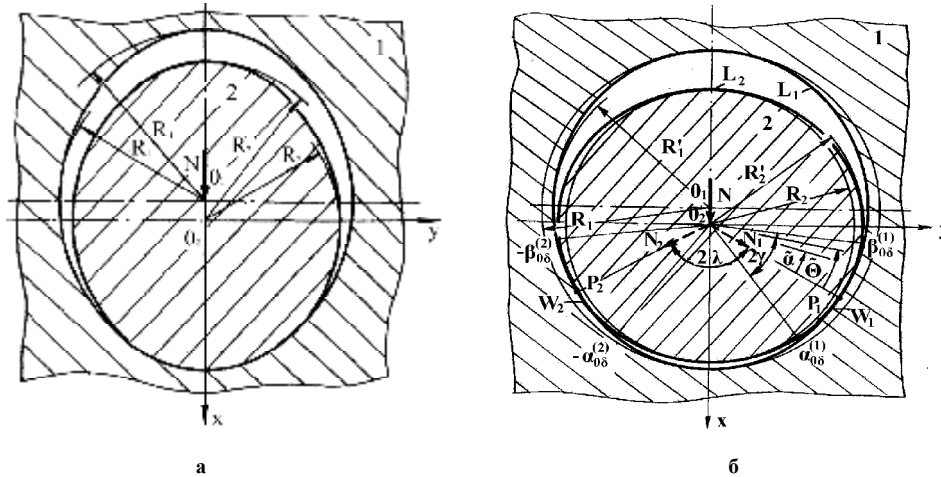


Рис. 1 – Загальні схеми підшипника ковзання із овальністю контурів співдотичних тіл:
а – вихідне положення вала з симетричним однообластевим співдотиком ($\alpha_2 = 0$);
б – симетричний двообластевий співдотик ($\alpha_2 = 90^\circ$)

Радіальний зазор у підшипниках буде $\varepsilon = R_1 - R_2$, де R_1 – більша піввісь отвору у втулці, R_2 – менша піввісь перерізу шипа вала, R'_1 – менша піввісь отвору у втулці, R'_2 – більша піввісь перерізу шипа. Відповідно характеристики огранення $\delta_1 = R_1 - R'_1$, $\delta_2 = R'_2 - R_2$.

Співдотик тіл без зовнішнього навантаження відбувається під кутом 2λ [21]. При навантаженні вала вертикальною радіальною силою N контакт тіл відбуватиметься в двох областях $W_1 = W_2 = 2\gamma R_2$ (рис. 1, б) чи одній області $W = 2\alpha_{08} R_2$ (рис. 1, а). Тут виникатимуть максимальні контактні тиски $p(\alpha_2, \delta)$, які циклічно змінюватимуться при повороті вала на кут $0 \leq \alpha_2 \leq 360^\circ$ у фазах симетричного однообластевого (рис. 1, а), косою однообластевого, косою двообластевого, симетричного двообластевого (рис. 1, б) і т.д. (рис. 3) контакту.

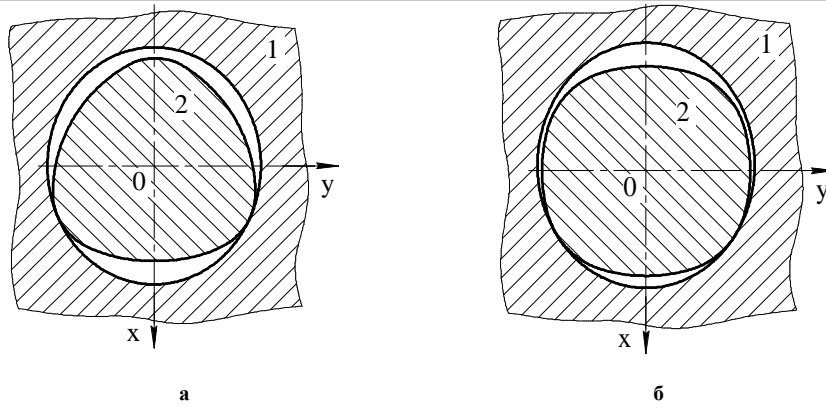


Рис. 2 – Схеми підшипників з ограненням вала:
а – тригранність; б – чотиригранність

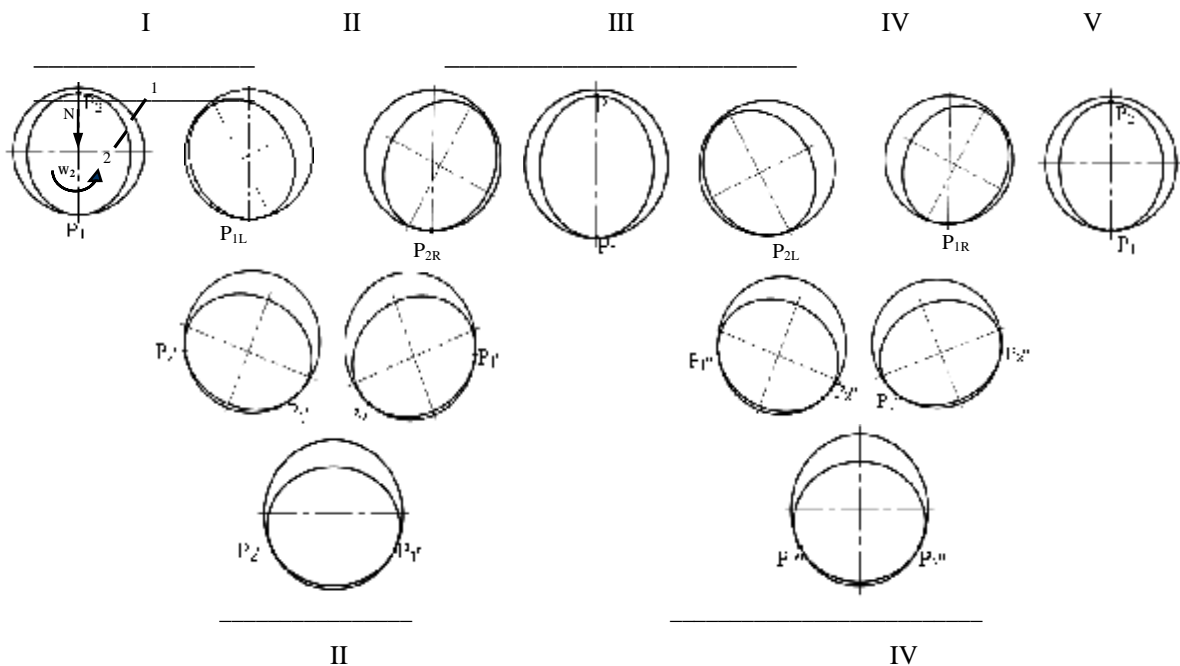


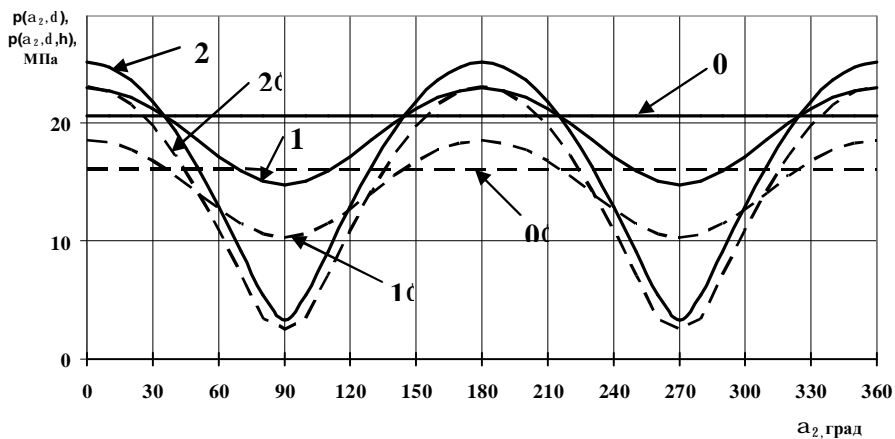
Рис. 3 – Фази мішаного контакту

Відповідно протягом одного оберту вала з овальністю буде (рис. 1) 5 фаз контактної взаємодії (3 – однообластевій, 2 – двообластевій), з тригранністю (рис. 2, а) – 7 фаз (4 + 3), з чотиригранністю (рис. 2, б) – 9 фаз (5 + 4).

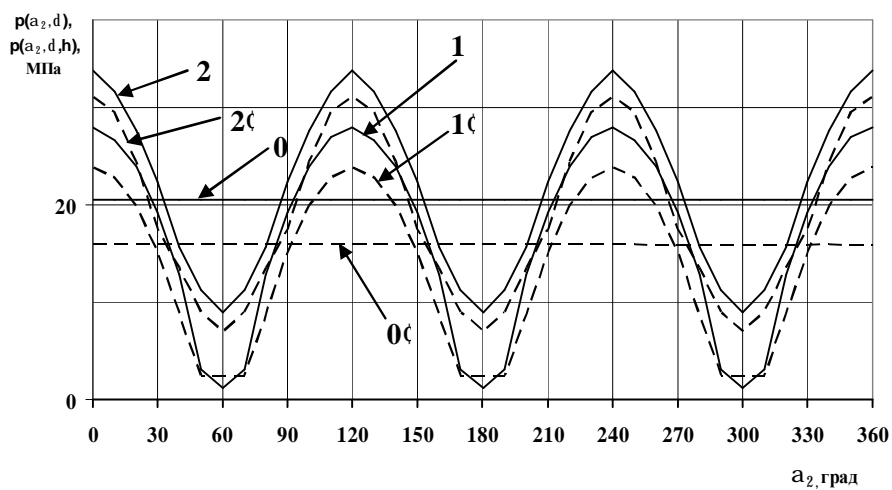
У процесі обертання вала з постійною кутовою швидкістю ω_2 під впливом навантаження N в області (областях) контакту виникатимуть сили тертя, які призведуть до зношування співдотичних тіл, що спричинить трансформацію початкових параметрів контакту, – зокрема тисків $p(\alpha_2, \delta)$. Їх початкова величина та зміна у результаті зношування даної трибосистеми встановлюється в рамках узагальненої моделі зношування [19].

Розв'язок задачі з визначення максимальних контактних $p(\alpha_2, \delta)$ та трибоконтактних $p(\alpha_2, \delta, h)$ тисків проведено при таких даних: $N = 0,1$ МН; $R_2 = 0,05$ м; $v = 0,0628$ м/с – швидкість ковзання; $f = 0,04$ – коефіцієнт тертя ковзання; $\epsilon = 0,41$ мм; $\delta_1 = 0$ (втулка є коловою), $\delta_2 = 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$ мм, $\delta_1 + \delta_2 \leq \epsilon$; $\omega_2 = 1,2566$ с⁻¹ – кутова швидкість вала; $h_{1*} = 0,3$ мм – допустиме зношування втулки; матеріал втулки: бронза ОЦС 5-5-5; матеріал вала: сталь 35 (гартування + високий відпуск). Використано експрес – метод дослідження кінетики зношування з інтервально – блочною схемою обчислень [22] з розміром блока постійних умов контакту $B = 7200$ об і інтервалом дискретизації $\Delta\alpha_2 = 10^\circ$ контуру вала.

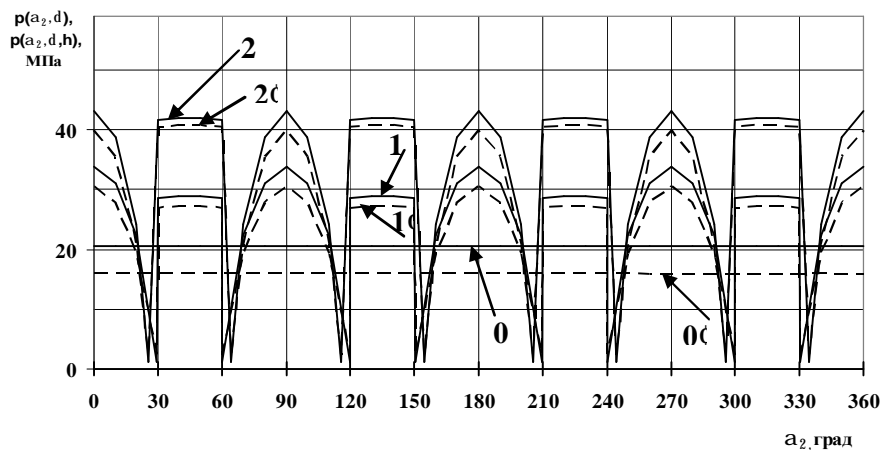
Результати розв'язку наведено на рис. 4, 5.



а

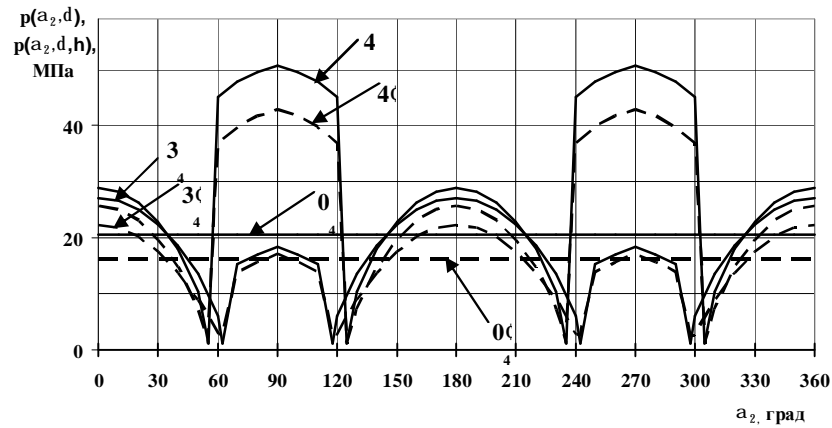


б

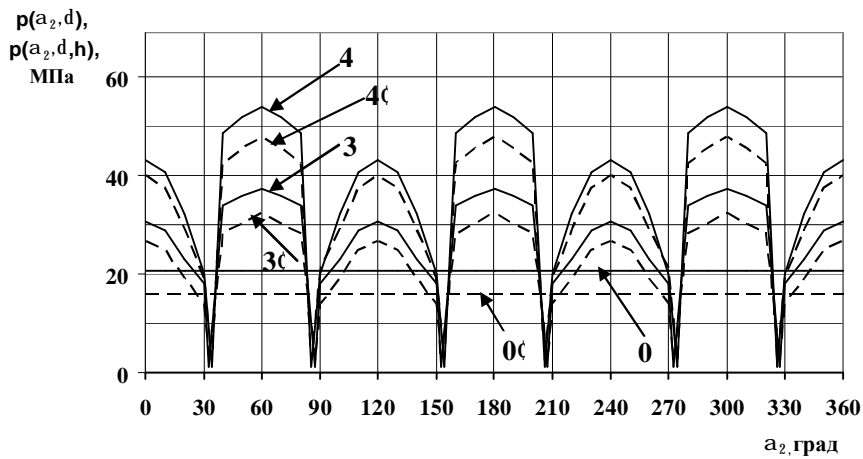


в

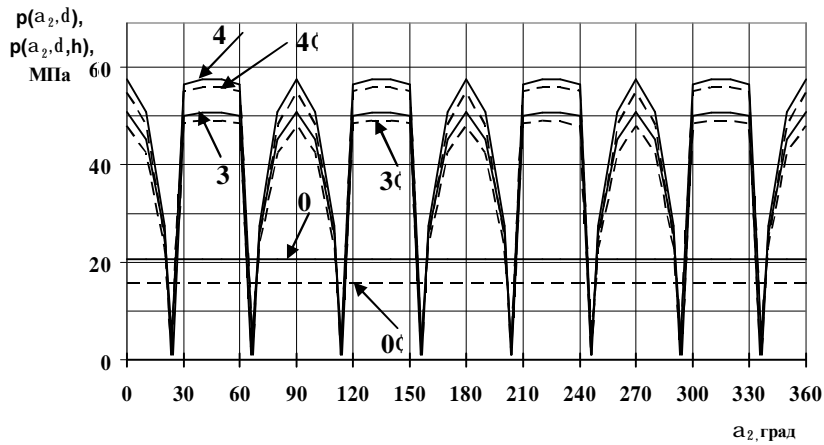
Рис. 4 – Зміна максимальних контактних і трибоконтактних тисків від повороту вала при реалізації повного однообластєвого контакту у підшипнику:
 а – вал з овальністю;
 б – вал з тригранністю;
 в – вал з чотиригранністю;
 0, 0' - $\delta_1 = \delta_2 = 0$; 1, 1' - $\delta_2 = 0,1$ мм; 2, 2' - $\delta_2 = 0,2$ мм



а



б



в

Рис. 5 – Залежність максимальних контактних і трибоконтактних тисків від повороту вала при реалізації змішаного контакту:
3, 3' – $\delta_2 = 0,3$ мм; 4, 4' – $\delta_2 = 0,4$ мм

Аналіз отриманих результатів свідчить, що:

а) у випадку вала з овальністю та тригранністю при $\delta_2 \leq 0,2$ мм виникатиме однообластевий контакт при $0 \leq \alpha_2 \leq 360^\circ$ (рис. 4а, б); при чотиригранності вала буде мішаний контакт (рис. 4, в);

б) при $\delta_2 \approx 0,5\epsilon$ в усіх випадках реалізовуватиметься мішаний контакт тіл (рис. 5);

в) із зростанням складності огранення контуру вала спостерігається зростання тисків $p(\alpha_2, \delta)$ та $p(\alpha_2, \delta, h)$ у порівнянні з тисками при $\delta_2 = 0$ (круговий переріз вала);

г) при мішаному контакті тиски у фазах однообластєвої взаємодії є найнижчими для випадку вала з овальністю (рис. 4, а) і зростають вдвічі для вала з чотиригранністю (рис. 5, в); у фазах двообластєвої взаємодії вони зростають менш інтенсивно (рис. 5, а - 5, в);

д) максимальні контактні тиски у обох фазах мішаного контакту є практично однаковими за наявності чотиригранності вала (рис. 4, в, 5, в), але різними при тригранності і ще більш значно відмінними при овальності вала (рис. 5а, б).

Отже зростання складності огранення призводить до зростання величини контактних напружень у підшипнику порівняно з валом з овальністю контуру: при повному однообластевому контакті менш значно, а при мішаному контакті суттєво чи навіть вдвічі. Характерною особливістю контактної взаємодії у підшипнику ковзання з овальністю вала є циклічна зміна максимальних контактних тисків з різною амплітудою та частотою в межах оберту.

Література

- 1 Андрейкив А.Е., Чернец М.В. Оценка контактного взаимодействия трущихся деталей машин. – К.: Наукова думка, 1991. –160 с.
- 2 Горячева И.Г., Добычин Н.М. Контактные задачи в трибологии. – М.:Машиностроение, 1988. – 256 с.
- 3 Коваленко Е.В. К расчету изнашивания сопряжения вал – втулка // ММТ. – 1982. - № 6. – С.66-72.
- 4 Крагельский И.В., Добычин Н.М., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
- 5 Кузьменко А.Г. Методи розрахунків на зношування та надійність. – Хмельницький:ТУП, 2002.– 151 с.
- 6 Теплый М.И. Определение контактных параметров и износа в цилиндрических опорах скольжения // Трение и износ. – 1987. – № 6. – С. 895-902.
- 7 Усов П.П. Внутренний контакт цилиндрических тел близких радиусов при изнашивании их поверхностей // Трение и износ. – 1985. – № 3. – С. 404-414.
- 8 Zwięzycki W. Prognozowanie niezawodności zużywających się elementów maszyn. – ITE: Radom, 1999. – 332 s.
- 9 Сорокатый Р.В. Обобщение метода трибоэлементов для моделирования процессов изнашивания подшипников скольжения // Проблемы трибологии. – 2007. – № 2. – С. 36-45.
- 10 Сорокатый Р.В. Решение износоконтактных задач методом трибоэлементов в среде конечно – элементного пакета ANSYS // Проблемы трибологии. – 2007. – № 3. – С. 9-17.
- 11 Чернец М.В. К вопросу об оценке долговечности цилиндрических трибосистем скольжения с границами, близкими к круговым // Трение и износ. – 1996. – № 3. – С. 340-344.
- 12 Чернец М.В., Луцишин Р.М. Про один метод контактної міцності циліндричних спряжень з малим збуренням контурів // Проблеми трибології. – 1997. – № 2. – С. 80-87.
- 13 Чернец М., Пашечко М., Невчас А. Методи прогнозування та підвищення зносостійкості триботехнічних систем ковзання. У 3-х томах. – Дрогобич: Коло, 2001.
- 14 Чернец М.В. Методологія оцінки характеристик контакту та прогнозування довговічності циліндричних трибосистем ковзання // Проблеми трибології. – 2000. – № 1. – С. 14-22.
- 15 Чернец М.В., Лебедева Н.М. Оцінка кінетики зношування трибосистем ковзання при наявності овальності контурів їх елементів за кумуляційною моделлю // Проблеми трибології. – 2005. – №4. – С. 114-120.
- 16 Чернец М., Андрейків О., Лебедева Н. Дослідження впливу складного огранення деталей підшипника ковзання на параметри контактної та трибоконтатної взаємодії // Проблеми трибології. – 2007. – №4. – С. 50-54.
- 17 Чернец М.В., Андрейків О.Є., Лебедева Н.М., Жидик В.Б. Модель оцінки зношування і довговічності підшипника ковзання за малої некруглості // ФХММ. – 2009. – №2. – С. 121-129.
- 18 Чернец М.В., Жидик В.Б. Узагальнена кумуляційна модель кінетики зношування підшипника ковзання. Ч.1. Лінійна і кумуляційна модель // Проблеми трибології. – 2012. – № 4. – С. 11 - 17.
- 19 Чернец М.В., Жидик В.Б. Узагальнена кумуляційна модель кінетики зношування підшипника ковзання. Ч.2. Узагальнена кумуляційна модель // Проблеми трибології. – 2013. – № 1. – С. 6 - 15.
- 20 Чернец М.В. Трибоконтатні задачі для циліндричних з'єднань з технологічною некруглістю. – Люблін: Люблінська політехніка, 2013. – 274 с.
- 21 Чернец М.В. Контактна задача для циліндричного з'єднання з технологічним ограненням контурів деталей // ФХММ. – 2009. – № 6. – С. 93-99.
- 22 Чернец М.В., Жидик В.Б. Експрес – метод дослідження кінетики трибоконтатної взаємодії у підшипнику ковзання з технологічною некруглістю контурів деталей // Проблеми трибології. – 2013. – № 2. – С. 6 - 12.

Надійшла в редакцію 24.02.2014

Chernets M.V. **Influence of shaft cutting on the variation of maximal contact pressures in sliding bearing.**

With the use of cumulative wear model at the sliding friction it has been conducted in sliding bearing the calculation assessment of influence of quantity and type of shaft technological cutting (ovality, trilobing, tetralobing) on the change of maximal contact pressures (initial and those which appear after allowable shaft wear). It has been established the regularities of pressures change during shaft rotation at the realization of single-area and mixed (single – double – single area) contact. The results of the researches are presented in a graphic form.

Key words: sliding bearing, shaft with technological cutting, contact pressures variation.

References

- 1 Andreikiv A.E., Czernec M.V. Ocenka kontaktnoho vzaimodejstvija trushchihsha detalei mashyn. K.: Naukova dumka, 1991. 160 p.
2. Horiacheva Y.H., Dobychin N.M. Kontaktnye zadachi v trybologii. M.: Mashynostroenie, 1988. 256 p.
3. Kovalenko E.V. K raschetu iznashyvanija soprjazhenyja val – vtulka. MMT. 1982. No 6. p.p. 66-72.
4. Krahelskyi Y.V., Dobychin N.M., Kombalov V.S. Osnovy raschetov na trenije i iznos. M.: Mashynostroenie, 1977. 526 p.
5. Kuzmenko A.H. Metody rozrahunkiv na znoshuvannia ta nadijnist. Khmelnytskyi:TUP, 2002. 151 s.
6. Teplyi M.Y. Opredelenie kontaktnyh parametrov i iznosa v tsylindricheskih oporah skolzenija. Trenie i iznos. 1987. No 6. p.p. 895-902.
7. Usov P.P. Vnutrennij kontakt tsylindricheskikh tel blizkikh radiusov pri iznashyvani i ikh poverhnosti. Trenie i iznos. 1985. No 3. p.p. 404 - 414.
8. Zwieżycki W. Prognozowanie niezawodności zużywających się elementów maszyn. ITE: Radom, 1999. 332 p.
9. Sorokaty R.V. Obobshchene metoda tryboelementov dlja modelirovanija processov iznashyvaniija podshypnikov skolzhenija. Problemy trybologii. 2007. No 2. p.p. 36 - 45.
10. Sorokaty R.V. Reshenie iznosokontaktnyh zadach metodom tryboelementov v srede konechno – elementnogo paketa ANSYS. Problemy trybologii. 2007. No 3. p.p. 9 - 17.
11. Czernec M.V. K voprosu ob ocenke dolgovechnosti cylindricheskikh tribosistem skolzhenija s granicami, blizkimi k kruhovym. Trenie i iznos. 1996. No 3. p.p. 340 - 344.
12. Czernec M.V., Lucyshyn R.M. Pro odyn metod kontaktnoi micnosti cylindrychnyh spriazhen z malym zburenniam konturiv. Problemy Trybologii. 1997. No 2. p.p. 80 - 87.
13. Czernec M., Pashechko M., Nevchas A. Metody prohnozuvannia ta pidvyshchennia znosostijkosti trybotekhnichnyh system kovzannia. U 3-h tomah. Drohobych: Kolo, 2001.
14. Czernec M.V. Metodolohija ocinky harakterytyk kontaktu ta prohnozuvannia dovhovicznosti cylindrychnyh trybosystem kovzannia. Problemy Trybologii. 2000. No 1. p.p. 14 -22.
15. Czernec M.V., Liebidieva N.M. Ocinka kinetyky znoshuvannia trybosystem kovzannia pry najavnosti ovalnosti konturiv jih elementiv za kumulacijnoju modellju. Problemy Trybologii. 2005. No 4. p.p. 114-120.
16. Czernec M., Andrejkiv O., Liebidieva N. Doslidzhennja vplyvu skladnogo ohrannennja detalei pidshypnyka kovzannja na parametry kontaktnoi ta trybokontaktnoi vzaiemodii. Problemy Trybologii. 2007. No 4. p.p. 50 - 54.
17. Czernec M.V., Andrejkiv O.Ye., Liebidieva N.M., Zhydyk V.B. Model ocinky znoshuvannia i dovhovicznosti pidshypnyka kovzannia za maloi nekruhlosti. FHMM. 2009. No 2. p.p. 121-129.
18. Czernec M.V., Zydyk V.B. Uzahalnena kumulacijna model kinetyky znoshuvannja pidshypnyka kovzannja. Cz. 1. Linijna i kumulacijna model. Problemy trybologii, No 4, 2012. p.p. 11 - 17.
19. Czernec M.V., Zydyk V.B. Uzahalnena kumulacijna model kinetyky znoshuvannja pidshypnyka kovzannja. Cz. 2. Uzahalnena kumulacijna model. Problemy Trybologii, No 1, 2013. p.p. 6 - 15.
20. Czernec M.V. Trybokontaktni zadachi dlja tsylindrychnykh ziednan z tehnolohichnoju nekruhlistiu. – Liublin : Liublińska Politehnika, 2013. 274 p.
21. Czernec M.V. Kontaktna zadacha dlja tsylindrychnoho ziednannia z tekhnohichnym ohrannenniam konturiv detalei. FHMM. 2009. No 6. p.p. 93 - 99.
22. Czernec M.V., Zydyk V.B. Ekspres-metod doslidzhennja kinetyky trybokontaktnoi vzajemodii u pidshypnyku kovzannja z tehnologicznoju nekruhlistju konturiv detalej. Problemy Trybologii, No 2, 2013. p.p. 6 - 12.