

IQTISODIY SAMARADORLIKKA TA'SIRINI BAHOLASH ASOSIDA PODSHIPNIK-VAL TIZIMIDA DUMALASH ELEMENTLARI ORASIDA YUKLANISH TAQSIMLANISHINI TAHLIL QILISH

Muminov Doston Alisher o'g'li

Toshkent davlat transport universiteti, 2-bosqich magistranti

dos1858060@gmail.com

Xusanov Muhammadjon Raximjon o'g'li

Toshkent davlat transport universiteti, 2-bosqich magistranti

xusanovmuhammadjon93@gmail.com

Yo'ldasheva Aliya Maqsad qizi

Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, 2-bosqich talabasi

aliyamaqsadqizi@gmail.com

Annotatsiya. *Ushbu maqolada podshipnik-val tizimida dumalash elementlari orasida yuklanishning taqsimlanishi hamda uning iqtisodiy samaradorlikka ta'siri o'rganilgan. Radial yuklama ta'sirida yuklanishning dumalash elementlari orasida notekis taqsimlanishi, yuklangan zona parametrlari va maksimal yuklanadigan elementlar aniqlangan. Elastiklik nazariyasiga asoslanib, kuch va siljishlar orasidagi bog'lanishlar tahlil qilinib, muvozanat shartlari orqali umumiy reaksiya kuchi ifodalangan.*

Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, yuklanishning ayrim dumalash elementlarida jamlanishi ularning tezroq yeyilishiga olib keladi. Burchak ortishi bilan yuklanayotgan elementlar sonining kamayishi esa alohida elementlarga tushadigan yukni oshiradi. Shu bilan birga, yuklanish notekisligining podshipnik xizmat muddati, ishonchliligi va ekspluatatsiya xarajatlariga ta'siri iqtisodiy nuqtai nazardan baholangan. Olingan natijalar podshipniklarni optimal tanlash va ulardan samarali foydalanishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar: *Podshipnik, val, dumalash elementlari, yuklanish taqsimlanishi, radial yuklama, reaksiya kuchi, elastiklik nazariyasi, sharikli podshipnik, rolikli podshipnik, yuklangan zona.*

Аннотация. *В данной статье рассмотрен вопрос распределения нагрузки между телами качения в подшипниках системы «подшипник-вал». Проанализированы особенности неравномерного распределения нагрузки под действием радиальной нагрузки, характеристики нагруженной зоны и наиболее нагруженные элементы. На основе теории упругости исследована взаимосвязь между силами и перемещениями, а также на основе условий равновесия получено выражение для общей реакции. Результаты расчётов и анализа показывают, что нагрузка в основном концентрируется на отдельных телах качения, при увеличении угла уменьшается число нагруженных элементов и возрастает*



влияние нагрузки. Также определено изменение реакции и оценено её существенное влияние на работу подшипника.

Ключевые слова: Подшипник, вал, тела качения, распределение нагрузки, радиальная нагрузка, сила реакции, теория упругости, шариковый подшипник, роликовый подшипник, нагруженная зона..

Abstract. *This article considers the problem of load distribution among rolling elements in the bearing–shaft system. The features of uneven load distribution under radial loading, the characteristics of the loaded zone, and the most heavily loaded elements are analyzed. Based on elasticity theory, the relationship between forces and displacements is studied, and the expression for the total reaction force is obtained using equilibrium conditions. The results of calculations and analysis show that the load is mainly concentrated on certain rolling elements. As the angle increases, the number of loaded elements decreases and the effect of load increases. In addition, the variation of the reaction force is determined, and its significant influence on bearing operation is evaluated.*

Keywords: *Bearing, shaft, rolling elements, load distribution, radial load, reaction force, elasticity theory, ball bearing, roller bearing, loaded zone.*

Ishonchlilik, mustahkamlik, uzoq muddat xizmat qilish va resurs masalalari hozirgi zamonaviy texnikada juda muhim hisoblanadi. Mashinalarga qo'yilayotgan talablar yil sayin oshib bormoqda: ular tez ishlashi, tejamkor bo'lishi, ishonchli ishlashi va og'irligi imkon qadar kichik bo'lishi kerak. Shu sababli mustahkamlikka hisoblash ishlari ham tobora murakkablashib bormoqda. Bunda turli ish rejimlari, materiallarning haqiqiy xossalari, yuklanish sharoitlari hamda texnologik va ekspluatatsion omillar hisobga olinishi kerak.

Aylanadigan qismlarga ega bo'lgan texnologik mashinalarni loyihalashda, ayniqsa, mustahkamlik va qattqlikni hisoblashga katta e'tibor beriladi. Buning uchun mashinalarda turli yuklanish holatlarida qanday fizik jarayonlar sodir bo'lishini yaxshi tushunish zarur. Mustahkamlikni baholash uchun esa val kesimlarida tashqi yuklamalar (doimiy va o'zgaruvchan) ta'sirida hosil bo'ladigan kuchlanishlarning haqiqiy taqsimlanishini bilish kerak. Ma'lumki, tashqi yuklamalar valga unga ulangan detallar (masalan, tishli g'ildiraklar, muftalar va boshqalar) orqali uzatiladi va ularni hisoblash yo'li bilan aniqlash mumkin.

Hozirgi vaqtga qadar vallarning mustahkamligi va qattqligini hisoblash bo'yicha ko'plab usullar ishlab chiqilgan va taklif qilingan.

Dumalash podshipniklarida radial yuklanishning taqsimlanishi bilan ko'plab olimlar ilmiy tadqiqot ishlari olib borishgan [1]. Yuklanishning podshipnik ichida qanday taqsimlanishi uning asosiy ish xususiyatlariga ta'sir qilishini o'rganilgan. Sharikli va rolikli podshipniklar uchun matematik model taklif qilingan bo'lib, u kontakt deformatsiyasi nazariyasiga asoslangan. Ushbu model yordamida dumalash elementlari



orasida yuklanish taqsimlanishi aniqlanadi hamda yuklanishda qatnashmaydigan elementlar ham hisobga olinadi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, ichki radial zazor va boshqa omillar yuklanish taqsimlanishiga katta ta'sir qiladi. Taklif etilgan usul podshipniklardagi yuklanishni aniqroq baholashga va hisoblashni soddalashtirishga imkon beradi.

Dumalash podshipniklarida eng ko'p yuklanadigan dumalash elementi aniqlash masalasi ilmiy izlanuvchilarni doim qiziqtirib kelgan. [2] ishda mualliflar ta'kidlashicha, aynan eng katta yuk tushadigan elementni aniqlash podshipnikning ishonchliligi va uzoq muddat ishlashini baholashda muhim ahamiyatga ega. Tadqiqotda yuklanishni aniqlash uchun soddalashtirilgan yondashuv taklif etilgan bo'lib, unda yuk maxsus taqsimlanish koeffitsiyentlari yordamida aniqlanadi. Ushbu yondashuv hisoblash jarayonini yengillashtiradi va murakkab iteratsion usullarga ehtiyojni kamaytiradi. Natijada, podshipnikdagi ichki zazor yuklanish taqsimlanishiga va eng ko'p yuklanadigan elementga sezilarli ta'sir qiladi. Taklif etilgan usul podshipniklardagi yuklanishni aniqroq baholash imkonini beradi.

Tadqiqotchilar tomonidan konussimon rolikli podshipniklarda yuklanish taqsimlanishini aniqlash usullari o'rganilgan [3]. Tadqiqotda dumalash elementlari va podshipnik halqalari orasidagi kontakt kuchlari, shuningdek ularning taqsimlanishiga ta'sir qiluvchi omillar tahlil qilingan. Mualliflar podshipnik elementlarining deformatsiyasi, yuklanish sharoitlari va geometrik parametrlar yuklanish taqsimlanishiga bevosita ta'sir qilishini ko'rsatadi. Hisoblash jarayonida kontakt zonalaridagi kuchlar va kuchlanishlar aniqlanib, ularning o'zaro bog'liqligi ko'rib chiqilgan. Olingan natijalar podshipniklarda yuklanish taqsimlanishini aniqlashda yanada aniqroq yondashuvni ta'minlaydi hamda podshipnik uzellarining ishonchliligini oshirishda muhim ahamiyatga ega.

Dumalash elementlariga ega bo'lgan podshipniklarning dinamik xususiyatlari, ayniqsa qattqlikning aylanish tezligi va yuklanishga bog'liq holda o'zgarishi ushbu tadqiqotda o'rganilgan [4]. Mualliflar podshipnikning yuklanish-siljish bog'lanishiga asoslangan dinamik modeldan foydalanib, tezlikka bog'liq qattqlik tushunchasini kiritgan. Hisoblash jarayonida dastlab sonli usullar qo'llanilgan, ammo ularning yetarli darajada barqaror emasligi aniqlangan. Shu sababli analitik yondashuv taklif etilib, u implicit funksiyani differensiallash asosida qattqlikni aniqlash imkonini beradi. Olingan natijalar boshqa usullar va tajriba ma'lumotlari bilan solishtirilib, taklif etilgan usulning samaradorligi tasdiqlangan.

Dumalash elementlariga ega bo'lgan sharikli podshipniklarning kvazistatik modelini yechish muammolari ushbu tadqiqotda [7] ko'rib chiqilgan va an'anaviy usullarning kamchiliklari tahlil qilingan. Mualliflar boshlang'ich qiymatni tanlashdagi qiyinchiliklarni bartaraf etish uchun yangi optimallashtirishga asoslangan yondashuvni taklif etgan. Taklif etilgan usul ikki bosqichli model asosida qurilgan bo'lib, unda dastlab boshlang'ich qiymat aniqlanadi, so'ngra sonli optimallashtirish amalga



oshiriladi. Hisoblash jarayonida zamonaviy algoritmlar qo'llanilib, natijalar an'anaviy usullar bilan solishtirilgan. Olingan natijalar yangi yondashuv hisoblashni tezlashtirishini va aniqroq natija berishini ko'rsatgan, shuningdek, bu usulni boshqa turdagi podshipniklarga ham qo'llash mumkinligi aniqlangan.

Podshipniklarga radial yuklama ta'sir qilganda [18], dumalash elementlariga tushadigan kuchlar bir xil taqsimlanmaydi. Yuklamani qabul qilishda barcha dumalash elementlari qatnashmaydi. Faqat 180° dan oshmagan qismda joylashganlari ishtirok etadi. Bu qism yuklangan zona deb ataladi. Eng katta yuklama esa kuch yo'nalishida turgan shar yoki rolikka tushadi.

Dumalash elementlari orasida kuchlar qanday taqsimlanishini aniq topish oson emas. Bu masalani statik usul bilan to'liq aniqlab bo'lmaydi. Kuch ta'siri yo'nalishiga nisbatan bir xil joylashgan dumalash elementlari bir xil yuklama oladi. Eng katta yuklama tushgan elementdagi kuch P_0 deb olinadi. Agar element kuch yo'nalishiga nisbatan γ burchak ostida joylashgan bo'lsa, undagi kuch P_1 deb belgilanadi. 2γ burchakda joylashganida P_2 , $n\gamma$ burchakda esa P_n deb olinadi. Bu yerda n – yuklangan zonadagi dumalash elementlarining yarmi. Va $u \leq z/4$ dan oshmaydi. Hisobni oson qilish uchun, barcha dumalsh elementlari kuch yo'nalishiga nisbatan simmetrik joylashgan deb qabul qilamiz.

Hisoblashlar natijasida radial bir qatorli sharik podshipnikda yukning dumalash elementlari orasida taqsimlanishi tahlil qilindi. Hisoblashlar turli burchak qiymatlari $\gamma=15^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ hamda turli boshlang'ich yuklamalar $P_0=500, 1000, 1500, 2000$ uchun bajarildi va natijalar jadval ko'rinishida keltirildi.

Olingan natijalardan shuni ko'rdikki, boshlang'ich yuklama P_0 ortishi bilan barcha dumalash elementlariga tushadigan yuklamalar ham proporsional ravishda ortadi. Eng katta yuklama birinchi dumalash elementiga to'g'ri keladi va keyingi elementlarga esa yuklama asta-sekin kamayib boradi.

Burchak γ kattalashgan sari yuklamaning taqsimlanishi o'zgaradi. Ya'ni, burchak ortishi bilan yuklanish kamroq sonli dumalash elementlariga taqsimlanadi. Natijada ayrim elementlar yuklanish zonasidan chiqib ketadi.

Xususan, $\gamma=30^\circ$ bo'lganda uchinchi va to'rtinchi dumalash elementlariga yuklama tushmaydi, ya'ni ular yuklanmagan holatda bo'ladi. Bu esa yuklamaning asosan birinchi va ikkinchi elementlar orqali uzatilishini ko'rsatadi.

Podshipnik-val tizimida yuklanishning dumalash elementlari orasida notekis taqsimlanishi ularning ekspluatatsion ishonchliligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Yuklanishning ayrim elementlarda jamlanishi kontakt kuchlanishlarning ortishiga olib keladi, bu esa charchash yeyilishi jarayonini tezlashtiradi. Natijada podshipnikning xizmat muddati qisqarib, uni tez-tez almashtirish zarurati yuzaga keladi.

Podshipniklardan foydalanish samaradorligini iqtisodiy jihatdan baholashda ularning umumiy ekspluatatsiya xarajatlari muhim ko'rsatkich hisoblanadi. Ushbu xarajalar quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$C_{\text{umumiy}} = C_s + C_x + C_t + C_y$$

Bu yerda:

C_s - boshlang'ich (sotib olish) xarajati,

C_x - xizmat ko'rsatish xarajatlari,

C_t - ta'mirlash va almashtirish xarajatlari,

C_y - nosozliklar tufayli yuzaga keladigan yo'qotishlar.

Yuklanishning notekis taqsimlanishi ayniqsa C_t va C_y ko'rsatkichlarini oshiradi. Chunki eng ko'p yuklangan dumalash elementlari tezroq ishdan chiqadi va butun podshipnik tizimining ishlashiga salbiy ta'sir qiladi. Bu esa ishlab chiqarish jarayonida majburiy to'xtashlar va qo'shimcha xarajatlarni keltirib chiqaradi.

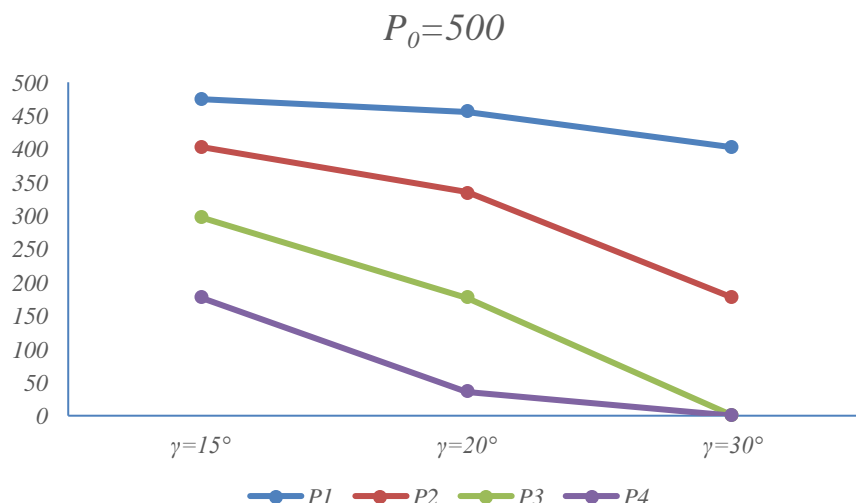
Mazkur bog'lanishdan ko'rinadiki, yukning ortishi xizmat muddatini keskin kamaytiradi. Shuning uchun yuklanishni dumalash elementlari orasida imkon qadar bir tekis taqsimlash podshipnikning uzoq muddat ishlashini ta'minlaydi.

Iqtisodiy jihatdan optimal yechim sifatida konstruktiv parametrlarni takomillashtirish, yuklanish zonasini kengaytirish va elementlar sonini to'g'ri tanlash tavsiya etiladi. Bu orqali yuklanish notekisligini kamaytirish, xizmat muddatini uzaytirish va umumiy ekspluatatsiya xarajatlarini qisqartirish mumkin bo'ladi.

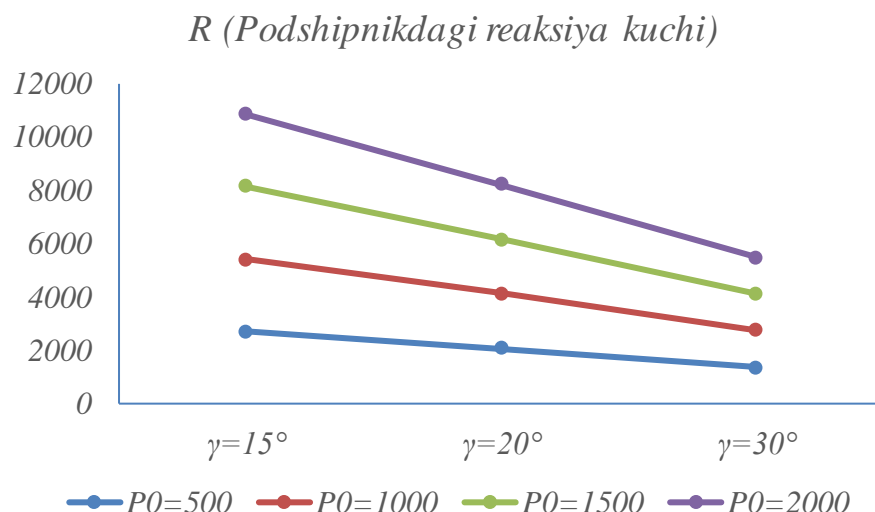
1-jadval.

Turli γ burchaklari (15° , 20° , 30°) va boshlang'ich yuklama P_0 qiymatlarida dumalash elementlari orasida yuklanishning taqsimlanishi

P0	$\gamma=15^\circ$				$\gamma=20^\circ$				$\gamma=30^\circ$			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
500	474.663	402.964	297.302	176.777	455.458	335.236	176.777	36.181	402.964	176.777	0	0
1000	949.327	805.927	594.604	353.553	910.917	670.472	353.553	72.361	805.927	353.553	0	0
1500	1423.99	1208.891	891.905	530.33	1366.375	1005.709	530.33	108.542	1208.891	530.33	0	0
2000	1898.653	1611.855	1189.207	707.107	1821.834	1340.945	707.107	144.722	1611.855	707.107	0	0



1-rasm. $P_0 = 500$ bo'lganda dumalash elementlarida yuklama taqsimlanish grafigi



2-rasm. Podshipniklarda reaksiya kuchi (R) ning P_0 yuklamalarda γ burchakka bog'liqligi

Grafikdan ko'rinadiki (2-rasm), γ burchak ortishi bilan podshipnikdagi reaksiya kuchi R kamayib boradi. Bu holat barcha P_0 qiymatlari uchun bir xil kuzatiladi. Eng katta qiymatlar $\gamma = 15^\circ$ da, eng kichiklari esa $\gamma = 30^\circ$ da olinadi. Shuningdek, P_0 ortishi bilan R ham ortadi. Ya'ni, boshlang'ich yuklama qancha katta bo'lsa, reaksiya kuchi ham shuncha katta bo'ladi. Shunday qilib, hisoblash natijalari shuni ko'rsatadiki, podshipnikdagi yuklamaning taqsimlanishi burchak qiymatiga sezilarli darajada bog'liq bo'lib, burchak ortishi bilan yuklanayotgan elementlar soni kamayadi va yuklama ayrim elementlarga ko'proq tushadi.

Umuman olganda, natijalar shuni ko'rsatadiki, burchak kattalashgan sari yuk taqsimlanishi o'zgaradi va natijada umumiy reaksiya kuchi kamayar ekan. Bu esa podshipnik ishiga sezilarli ta'sir qiladi.



Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ren X., Zhai J., Ren G. / Calculation of radial load distribution on ball and roller bearings with positive, negative and zero clearance // Журнал: International Journal of Mechanical Sciences, 2017.
2. Tomović R. A / New Approach for the Load Calculation of the Most-Loaded Rolling Element of the Rolling Bearing with Internal Radial Clearance // Журнал: Lubricants, 2022.
3. Жильников Е.П., Пилла К.К. / “Распределение нагрузки в коническом подшипнике качения” // Журнал: Известия Самарского научного центра РАН, 2013.
4. Xia Sheng, Beizhi Li, Zhouping Wu, Huyan Li / Calculation of ball bearing speed-varying stiffness // Журнал: Mechanism and Machine Theory, 2014.
5. Xiaofeng Zhao, Shuidian Xu, Tao Xu, Qianqian Xu, Kai Huang / Calculation Method and Experimental Study on Circumferential Total Clearance of Cageless Bearings // Журнал: Lubricants, 2024.
6. J. Tribol, Luc Houpert, Oliver Menck / Bearing Life Calculations in Rotating and Oscillating Applications Open Access // Журнал: American Society of Mechanical Engineers: Digital Collection, 2022.
7. Jing Hu, XiaoLi Qiao, QiongYing Lv, XinMing Zhang, XiaoPing Zhou / Research on a Numerical Calculation for Ball Bearings Based on a Finite Initial Value Search Method // Журнал: Mathematical Problems in Engineering, 2024.
8. Djurayev A. va boshq. Mashina va mexanizmlar nazariyasi // Tashkent-2004, 582 b.
9. Yunusov, S. Z., Kenjayev, S. N., & Makhmudova, S. A. (2023). Shafts of technological machines with combined supports. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 01059). EDP Sciences.

