

27. Korchak, M., Bliznjuk, O., Nekrasov, S., Gavrish, T., Petrova, O., Shevchuk, N., Strikha, L., Kostyrkin, O., Semenov, E., Saveliev, D. Development of rational technology for sodium glyceroxide obtaining. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Volume 5, № 6 (119), P. 16 – 25 (2022). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265087>
28. Korchak, M., Bragin, O., Petrova, O., Shevchuk, N., Strikha, L., ta in. (2022). Development of transesterification model for safe technology of chemical modification of oxidized fats. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Volume 6, № 6 (120), P. 8 – 13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266931>.
29. Sytnik, N., Korchak, M., Nekrasov, S., Herasymenko, V., Mylostyvyi, R., Ovsianikova, T., Shamota, T., Mohutova, V., Ofilenko, N., Choni I. Increasing the oxidative stability of linseed oil. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Technology organic and inorganic substances, Volume 4, № 6 (124), P. 45 – 50 (2023). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.284314>

## **ВДОСКОНАЛЕНИЙ ІНЖЕНЕРНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРАХУНКУ РАДІАЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ ШАРИКОПІДШИПНИКІВ**

**Хавін В.Л.**

кандидат технічних наук, доцент, професор  
[Valerij.Havin@khp.edu.ua](mailto:Valerij.Havin@khp.edu.ua)

**Конохов В.І.**

кандидат технічних наук, доцент  
[volodymyr.konokhov@khp.edu.ua](mailto:volodymyr.konokhov@khp.edu.ua)

**Шергін С.Ю.**

старший викладач  
[Serhii.Sherhin@khp.edu.ua](mailto:Serhii.Sherhin@khp.edu.ua)

Національний технічний університет «ХПІ», Україна

При статичному аналізі шпindelних валів зазвичай використовуються приблизні довідникові значення жорсткості опор – підшипників кочення. Недоліком такого підходу є те, що жорсткість підшипника кочення істотно залежить від діючих на нього сил, величини технологічних зазорів і попереднього затягування, теплових навантажень, посадок зовнішнього і внутрішнього кілець, що може дати похибку в оцінці жорсткості опори до 50%.

Загальні чисельно-аналітичні рівняння для визначення переміщень і характеристик жорсткості для моделей підшипників з одним і двома ступенями свободи були отримані в роботах [1-3] (метод Джонса-Харріса (JHM)).

У роботі [4] для радіальних шарикопадшипників був запропонований метод, названий модифікованим методом Джонса-Харріса (MJHM), що дозволяє отримати більш точну чисельно-аналітичну модель. В MJHM, на відміну від моделі Джонса-Харріса, для вирішення задачі контакту для окремої кульки з

доріжками кочення використовується не аналітична модель контакту по Герцу, а скінченно-елементні періодичні моделі [4] (Рис. 1), що складаються з двох півкуль (половина елемента кочення),  $\Gamma_2$ , що контактують кожна окремо з  $1/Z$  – ою частиною внутрішнього та зовнішнього кільця підшипника відповідно ( $Z$  – кількість кульок в підшипнику), що мають фізично обґрунтовані граничні умови, які впливають з періодичності обраного для розрахунку елемента  $\Gamma_1$ , вільної бічної поверхні кільця, вільної нижньої і нерухомої верхніх поверхонь кільця  $\Gamma_3$  (рис. 1).

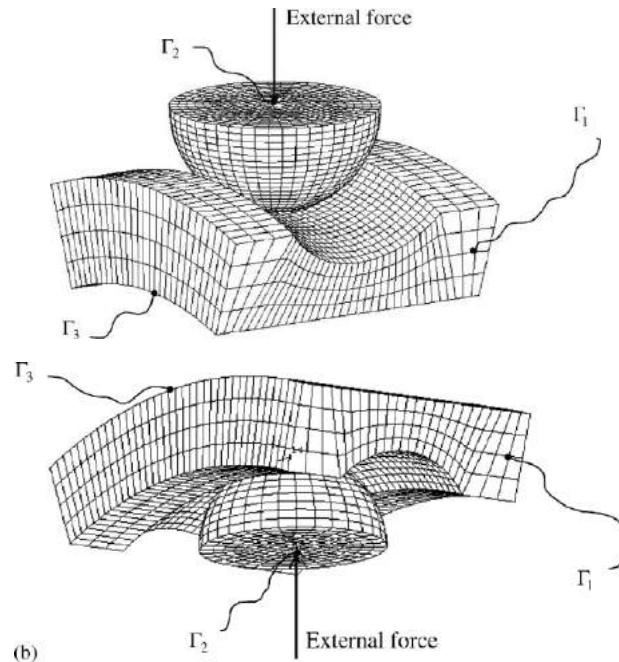


Рисунок 1. Моделі скінченних елементів.

Модифікований метод Джонса-Харріса дозволяє отримати більш точну і відносно просту чисельно-аналітичну модель розрахунку жорсткості підшипників. Для оцінки ефективності МЖМ - моделі проведено порівняння радіальних жорсткостей підшипника фірми SKF (SKF-601) отриманих за ЖМ та МЖМ - моделями, з експериментальними даними з роботи [4] (Рис.2).

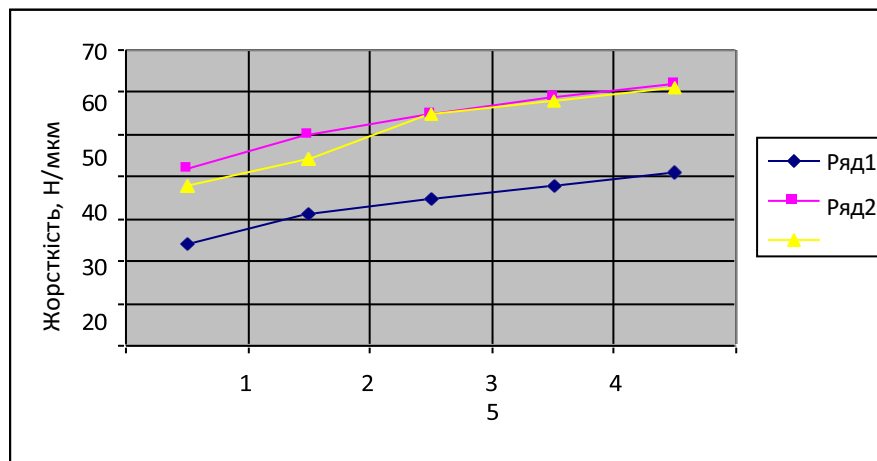


Рисунок 2. Радіальна жорсткість підшипника SKF.  
Ряд1 – ЖМ - модель, Ряд2 – МЖМ - модель, Ряд3 – експеримент.

Результати, що представлені на рис. 2 в діапазоні сил до 500 Н, показують невідповідність з експериментальними даними до 40 – 50% для моделі JHM і 3 – 12% для моделі MJHM.

Таким чином, можна констатувати, що використання моделі MJHM дає підвищення точності розрахунку жорсткості для радіальних підшипників в порівнянні з JHM - моделлю на 20 - 40%,

Висновки. У роботі представлено застосування модифікованого методу Джонса-Харріса (MJHM), який забезпечує підвищення точності за рахунок уточнення характеристик жорсткості в залежностях для радіальних жорсткостей радіальних та радіально-упорних шарикопідшипників.

Моделі скінченних елементів, що використовуються для визначення залежності переміщень від радіального зусилля в контакті «елемент кочення – кільця підшипників» в MJHM - моделі замість моделі контакту по Герцу в моделі Джонса-Харріса (JHM), більш точно відображають геометрію і жорсткість зовнішньої і внутрішньої доріжок кочення підшипника, що дозволяє отримати значно точніші константи для моделі нелінійної жорсткості, що підтверджується порівнянням з експериментом.

Перевагою MJHM - моделі є можливість автоматичного врахування технологічного зазору і швидкості обертання валу (відцентрової сили, що діє на кульку), що вимагає окремого спеціального рішення для JHM - моделі.

Трудовитрати і комп'ютерний час, необхідний для реалізації модифікованого методу Джонса-Харріса, помітно менше, ніж при використанні методу скінченних елементів для визначення жорсткості «в лоб» для кожного окремого підшипника, що робить MJHM - модель ефективною інженерною моделлю розрахунку жорсткості шарикопідшипників.

Отримані результати розрахунку жорсткості для ряду підшипників фірми SKF можуть бути успішно використані для практичних розрахунків жорсткості радіальних та радіально-упорних шарикопідшипників інших фірм, конструктивно-технологічні характеристики яких відповідають характеристикам фірми SKF, розглянутим в цій роботі.

#### Список використаних джерел

1. Jones, A. B. (1960), "A General Theory for Elastically Constrained Ball and Radial Roller Bearings," Transactions of the ASME. Series D, Journal of Basic Engineering, 82, pp 309-320.
2. Palmgren A. Ball and Roller Bearing Engineering. SKF Industries Inc., Philadelphia, 1959.
3. Harris, T. A. (1966), Rolling Bearing Analysis, John Wiley.
4. Yuan Kanga, Ping-Chen Shen, Chih-Ching Huangc, Shyh-Shyong Shyrc, Yeon-Pun Chang "A Modification of the Jones- Harris Method for Deep-Groove Ball Bearings," Tribology International, Vol. 39, No. 11, 2006, pp. 1413-1420. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2005.12.005>.