

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ В'ЯЗКОСТІ РОБОЧОЇ РІДИНИ
НА ЇЇ РУХ В КАМЕРІ АВТОБАЛАНСИРА ТИПУ LEBLANC¹ Хмельницький національний університет**Анотація**

Подано результати моделювання розподілу швидкостей в об'ємі в'язкої робочої рідини в процесі обертального руху роторної системи. Розглянуто режим повного пріоритету відцентрових сил, коли вільна поверхня рідини набуває циліндричної форми. Верифікацію моделі здійснено на експериментальних даних. Показано, що автобалансири з робочою рідиною меншої в'язкості є більш ефективними.

Ключові слова: балансувальний пристрій типу Leblanc, робоча рідина, в'язкість.

Вібрації, викликані дисбалансом, є проблемою в динаміці роторних машин. У випадках, коли дисбаланс є змінним або коли балансування ротора на ходу є неможливим, одним із дієвих способів вирішення такої проблеми є автоматичне балансування. Балансир Leblanc – це, зазвичай, жорстке порожнє кільце (циліндричне або тороподібне) частково заповнене рідиною [1]. Через простоту та доступність у виготовленні, надійність та безшумність в практичній реалізації, несприятливість зношуванню робочих поверхонь використання балансира типу Leblanc є перспективним методом автоматичного балансування для класу серійних машин (зокрема, побутових), дисбаланс яких є змінним через особливості роботи машини [2, 3].

Метою роботи є обґрунтування розподілу швидкостей в об'ємі робочої рідини в процесі обертального руху роторної системи з АБП за режиму повного пріоритету відцентрових сил, коли вільна поверхня рідини набуває циліндричної форми, та оцінка впливу в'язкості робочої рідини на її рух та поведінку в камері АБП як коригувальної маси.

Розглядається обертальний рух рідини в камері радіуса R і висотою h автобалансируального пристрою типу Leblanc у випадку квазістаціонарного обертання роторної системи з кутовою швидкістю ω_0 ($[\omega] = \text{с}^{-1}$) навколо осі ротора за режиму повного пріоритету відцентрових сил. Радіус вільної поверхні рідини за цього режиму – R_0 . Вважається, що в'язка рідина (μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини), розташована між «циліндрами» (зовнішній – стінка камери АБП, внутрішній – вільна поверхня рідини), обертається концентричними циліндричними шарами. Момент сил, що діють по циліндричній межі між шарами рідини не залежить від радіуса біжучого циліндричного шару рідини r , оскільки рідина рухається стаціонарно. Тому:

$$M_F(r) = r \cdot \mu \cdot \frac{rd\omega}{dr} \cdot 2\pi \cdot r \cdot h = 2\pi \cdot h \cdot \mu \cdot r^3 \frac{d\omega}{dr} = M_F, \quad R_0 \leq r < R. \quad (1)$$

Інтегруванням виразу (1) з граничною умовою $\omega(R) = \omega_0$ одержано вираз для розподілу кутових швидкостей в об'ємі в'язкої робочої рідини (2):

$$\omega(r) = \omega_0 + \frac{M_F}{4\pi \cdot h \cdot \mu} \cdot \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{R^2} \right). \quad (2)$$

За формулою (1) градієнт швидкості обернено пропорційний в'язкості. Тому можна висунути гіпотезу, що в'язкі рідини є малоефективними для відстеження дисбалансу роторної системи. Експериментально визначено вплив в'язкості (внутрішнього тертя) коригувальної рідини на амплітуду коливань і відповідно на ефективність балансування для різних значень дисбалансу ротора. Для цього на дослідних установках, що моделюють вертикальну і

горизонтальну роторні системи проведено серію дослідів з рідинами близькими за густиною, але суттєво різними за в'язкістю: з прісною водою ($\rho \approx 1000 \text{ кг/м}^3$; $\mu \approx 10,1 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$); зі специфічною рідиною 1 ($\rho \approx 1230 \text{ кг/м}^3$; $\mu \approx 177,13 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$); зі специфічною рідиною 2 ($\rho \approx 1370 \text{ кг/м}^3$; $\mu \approx 1327,59 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$). На рис. 1 подано амплітудно-частотні характеристики коливань вільного краю ротора за умов: об'єм робочої рідини 50 мл, $R = 0,2 \text{ м}$, $h = 0,05 \text{ м}$, величина імітаційного дисбалансу ротора $D = 1000 \text{ г}\cdot\text{см}$.

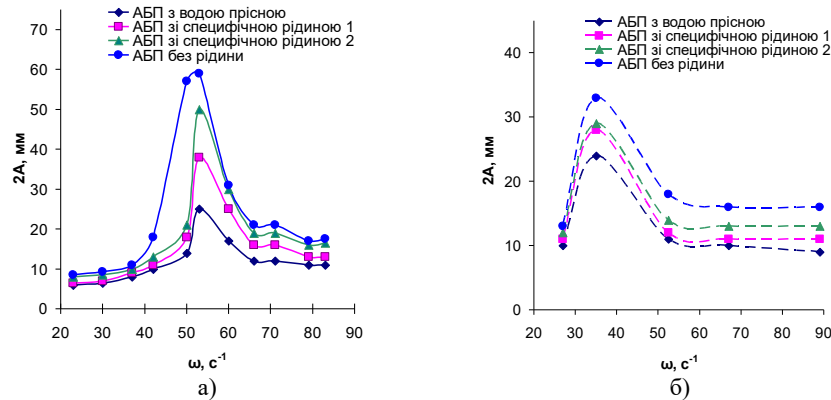


Рис. 1. Амплітудно-частотні характеристики коливань вільного краю барабана:
а) – випадок вертикального ротора; б) – випадок горизонтального ротора

Порівняння відповідних амплітуд коливань ротора (рис. 1) дозволяє зробити висновок: автобалансувальний пристрій з прісною водою (з рідиною найменшої в'язкості) є більш ефективним, ніж балансер з специфічними рідинами в якості коригувальних мас. Значення коефіцієнтів ефективності при переході через резонанс з використанням рідин різної в'язкості для вертикального ротора містяться в діапазоні від 2,36 до 1,18; для горизонтального – від 1,38 до 1,14.

Доведено припущення, що в'язкість (внутрішнє тертя між шарами) рідини, пролонгує включення в'язкої рідини в процес автобалансування і не дозволяє рідині встановитися точно проти дисбалансу не залежно від просторового розташування осі ротора. Тому за суттєвої в'язкості робочої рідини зрівноважування дисбалансу є малоефективним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. LeBlanc, M.: Automatic Balancer for Rotating Bodies. US Patent 1.159.052, 1914. Available at: <https://patents.google.com/patent/US1209730A/en>
2. Narkhede1, Churnika N., Dhande, K.K. (2016). Review on vibration reduction of a vertical axis drum based washing machine. IJARIE, vol. 2, 3, 3842-3847.
3. Nilawar, S. G., Yerrawar, R. N. (2023). Numerical modeling of semi-automatic washing machine motion model, Proceedings of the 11th International Conference on Applied Mechanics.

Драч Ілона Володимирівна – д-р. техн. наук, професор кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, drachil@khmnu.edu.ua.

Диха Максим Олександрович – канд. техн. наук, докторант кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, maxdixal@gmail.com.

Analysis of Viscosity Effects on Working Fluid Motion in a Leblanc-Type Balancer

Abstract

This paper presents a simulation of velocity distribution in a viscous working fluid during rotor rotation. It focuses on a regime dominated by centrifugal forces, where the fluid's free surface becomes cylindrical. The model is validated with experimental data. Results show that auto-balancers using lower-viscosity fluids are more efficient

Keywords: Leblanc-type Balancing Device, Working Fluid, Viscosity.

Drach Ilona V. – Doctor. Sc. (Eng), Professor of Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, Khmelnytsky, drachil@khmnu.edu.ua.

Dykha Maksym – PhD, doctoral student Department of Tribology, Automobiles and Materials Science Khmelnytskyi National University, Khmelnytsky, maxdixal@gmail.com.