

РІДИННЕ ПАСИВЕ АВТОБАЛАНСУВАННЯ ДЛЯ ПРАЛЬНИХ МАШИН БАРАБАННОГО ТИПУ

Лазебник О.А.¹, Драч І. В.²

¹ Хмельницький національний університет, discobobulate@hotmail.com

² Хмельницький національний університет, cogitare410@gmail.com

Сьогодні спостерігається стрімке зростання попиту на енергозбереження у всіх галузях промисловості, у промислових цілях, а також у побутових пристроях, зокрема, у пральних машинах. У барабані автоматичної пральної машини незбалансована маса одягу у при режимі віджим може викликати проблеми з вібрацією. Кожного разу, коли пральна машина входить в цикл обертання, вона починає створювати високочастотні коливання. Незбалансована маса одягу спричиняє вібрацію оскільки на стадії віджимного сушіння барабан обертається з відносно високою швидкістю, що призводить до значного тиску білизни на внутрішню стінку барабана, і це може стати до кінця режиму значною незбалансованою силою.

Характерним для пральної машини є те, що розподіл маси білизни всередині барабана змінюється з кожним пуском, а також під час прання або віджимного процесу сушіння. Амплітуда коливань залежить від співвідношення швидкості обертання і власної частоти машини. Однак для ротора з дисбалансом амплітуда вібрації досягає сталої величини, яка дорівнює відстані між центром мас та віссю обертання. Якщо співвідношення цих двох частот є високим, то це може викликати значне збільшення вібрації коли машина проходить через резонанс.

Ще одна особливість роботи пральної машини: під час циклу обертання розподіл одягу в барабані є випадковим. Іноді це може спричинити великі диспропорції та значне збільшення коливань. Такі значні коливання можуть змінювати положення пральних машин у просторі, а також створювати шум, який неприйнятний для домашнього застосування.

У даній роботі подано аналіз статей і наукових розробок, що стосуються методу пасивного рідинного автоматичного балансування пральних машин та проаналізовано деякі аспекти цього методу.

Рідинні автобалансируючі пристрої (АБП) використовують у вигляді порожньої камери з рідкими робочими тілами [1]. Вони є стандартною функцією у більшості побутових пральних машин, але також використовуються у важких промислових роторних машинах. До прикладу, для пральних машин використовуються рідинні

стабілізатори, які складаються з порожнистого кільця, подібного до гумового обруча але, зазвичай, з прямокутним перерізом, що містить невелику кількість рідини. Кільце, як правило, кріпиться у верхній частині барабана [2, 3, 4]. Рідина в кільці вільно переміщується і прагне поєднати головну центральну вісь інерції ротора з його віссю обертання. У якості балансуєчої рідини використовують звичайну воду або сольові розчини. Внутрішня порожнина кільця може містити певну кількість радіальних перегородок, розташованих на рівній відстані одна від одної.

Певна обмежена інформація про рідинне балансуєче кільце вперше почала оприлюднюватись через численні патенти, деякі технічні статті та дипломні роботи. У 1915 р. Лебланк [5] вперше продемонстрував пасивно-працюючий балансуєчий пристрій для роторів турбіни, який складався з кільцевої порожнини частково заповненої речовиною з високою в'язкістю. Вважається, що перше балансуєче кільце, де використовувалась вода, і яке було адаптованим для пральних машин, представлено в 1945 році у вигляді патенту Дайєра [6]. Конрад [7] проаналізував балансуєче кільце з декількома камерами у вигляді послідовних концентричних кільцевих порожнин, що мало забезпечити збільшення балансуєчих властивостей рідини. Хун [8] розробив числову модель розподілу мас у пральній машині із рідинним балансиrom. Центр мас системи співставляється з центральною віссю барабана, який обертається на рухливих кріпленнях і амортизаторах, що обертаються. Знайдено конкретні числові дані, що узгоджуються з експериментальними вимірами зміщення. Моріо і Ютака [9] використали рівняння (1) для опису балансуєчої сили:

$$F_f = \pi h \rho r_0^2 z \omega^2, \quad (1)$$

де значення z отримане за допомогою програмного засобу, який реалізує метод скінченних елементів для розглядуваної моделі. Це рівняння дає оцінку сили, створюваної рідинним балансиrom за спостережуваними значеннями навантаження для всієї конструкції, що обертається, під час експерименту проведеного Моріо. Бає [10] побудував інше рівняння руху сучасних вертикально-радіальних пральних машин. Але, камера і барабан, які обертаються, були представлені як два жорстко зв'язані жорсткі елементи, що обмежило рухи камери і барабана. Бає знайшов центр ваги рідини як центр фігури, утвореної рідиною у горизонтальному перерізі камери. Потім було обраховано силу потоку речовини, яку було визначено шляхом дослідних вимірів. Ця сила потоку була згодом додана до моделі для визначення реакції при розбалансуванні у стійкому стані. Автори

прийшли до схожого рівняння, яке було до цього знайдене Конрадом [7]. Урбола [11], на відміну від результатів Конрада і Бає, описав балансуєчу силу потоку так:

$$F_f = \left[fill(r_0^2 - r_i^2) \right] h \rho \left(\frac{-z r_f^2}{r_f^2 - r_0^2} \right) \omega^2, \quad (2)$$

де радіус рідини, що знаходиться всередині камери, задається як

$$r_f = \left[fill(r_i^2 - r_0^2) + r_0^2 \right]^{0.5}. \quad (3)$$

Джанг [12] запропонував встановити середню перегородку в камері з отворами, щоб уникнути переливання води. Для перевірки ефективності було застосовано метод розрахунку динаміки руху рідини. Автори використали модель, що описує силу балансуєчого кільця Бає [10]. Урболою у [13] було представлено перше балансуєче кільце з непрямыми перегородками. Дизайн АБП Урболи включав в себе спеціально зроблені ввігнуті і вигнуті перегородки, а також вигнуті і прямі перегородки у поєднанні з перегородками різної висоти, що допомагає зменшити час і амплітуду вібрації при нестационарному режимі роботи. Також цей новий дизайн дозволяє барабану обертатися при більш високих швидкостях. Незручність попередніх досліджень пов'язана з тим, що ексцентриситет у стаціонарному стані повинен бути відомий априорі, як правило, вимірюванням переміщення. Згодом сила рідини може бути оцінена та введена в динамічну модель для прогнозування реакції дисбалансу на номінальній швидкості. Прогноз відповіді незбалансованості в частотному діапазоні до тепер не повідомляється. Припущений фізичний принцип пояснення роботи такого рідинного АБП полягає в тому, що гнучкий ротор витіснить на 180° фазу дисбалансу за першою критичною швидкістю. Однак цей висновок не обов'язково є правильним через ефекти демпфування рідини.

У [14] вперше показані експериментальні та аналітичні дані для розуміння потоку рідини всередині балансуєчої кільцевої камери та взаємодії його з перегородками. Зазначається демпфуючий ефект, індукований зворотною хвилею. Встановлено, що він спричиняє фазове відставання між місцем розташування сили дисбалансу та протилежною силою балансуєчої рідини, зміщуючи фазу від 180° до 150° .

Порівняння динаміки пральних машин з вертикальною та горизонтальною віссю представлені в [15]. У роботі [16] представлена спрощена 3D-динамічна модель пральної машини з горизонтальною віссю з балансуєчим пристроєм.

Ідея застосування рідинного пасивного автобалансування в конструкціях сучасних пральних машин, таким чином, не нова; але останнім часом спостерігається відроджений інтерес до неї як у промисловості, так і в наукових сферах. Це пояснюється насамперед рядом переваг застосування рідинних автобалансирів для компенсації експлуатаційних змін дисбалансу роторних систем без їх зупинки: відносна конструктивна простота цих пристроїв, які є пасивними регуляторами прямої дії, що не потребують підведення енергії і системи керування для переміщення коригувальної рідини, їх виготовлення не вимагає значних економічних витрат; вони легко вбудовуються в ротор без суттєвої модифікації його конструкції, вони ефективно компенсують зміну дисбалансу; пасивні АБП надійні в експлуатації, працюють, споживаючи енергію самого ротора; немає необхідності витрачати велику кількість потужності двигуна для подолання значної напруги між осями та підшипниками в критичному діапазоні обертання, отже, це енергозберігаюча технологія.

Література

1. Никифоров А.Н. Состояние проблемы уравновешивания роторов / А.Н. Никифоров // Вестник научно-технического развития. – 2013. - №4 (68). - С. 20-28.
2. Pat. US 9663889 B2 Republic of Korea. Laundry treating apparatus / Keunjoo Kim, Jinwoong Kim, Seungchul Park. - Owner name: Lg Electronics Inc. – заявл. 19.02.2015; опубл. 30.05.2017, Бюл. № US 14/626,420. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.google.com/patents/US9663889> (may 30, 2017)
3. Pat. EP 3085827 A1 Republic of Korea. Balancing unit and laundry treatment apparatus / Keunjoo Kim, Jinwoong Kim, Seungchul Park. - Owner name: Lg Electronics Inc. – заявл. 11.02.2014; опубл. 26.05.2016, Бюл. № US EP20160165454. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.google.com/patents/EP3085827A1?cl=en> (may 26, 2016)
4. Pat. US 20120144598 A1 Republic of Korea. Laundry treating appliance with balancing system / Stephen D. Ostdiek., Vishal Verma. - Owner name: Whirlpool Corporation – заявл. 08.12.2010; опубл. 14.06.2012, Бюл. № US EP20160165454. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.google.com/patents/US20120144598> (June 14, 2012)
5. Pat. No. US1159052A Automatic Balancer for Rotating Bodies / Leblanc M. Application Filed DEC. 1. 1913.- Patented Nov. 2, 1915. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/US1159052A/en> (Nov. 2, 1915)

6. Pat. No. 2,375,635 U. S. Domestic appliance / Dyer J.B. - Original Assignee Motors Liquidation Co - Priority date 1940-06-29; Grant 1945-05-08; Pub Number US2375635A [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.google.com/patents/US2375635> (May 08, 1945)
7. Conrad D. C. On the Fundamentals of Automatic Washing Machine Design Based Upon Dynamic Constraints / Ph.D. thesis, Purdue University, West Lafayette, IN, 1994.
8. Hoon H. S. A Study on the Dynamic Behaviour of an Automatic Washing Machine / H. S. Hoon, L. J. Young, S. Suzuki, H. W. Gu // Korea ADAMS User Conference, 2001, Vol. 11, Nos. 8 and 9, pp. 1–6.
9. Morio M. Washing Machine Dehydration Dynamics Analysis / M. Morio, N. Yutaka // Nihon Kikai Gakkai Nenji Taikai Koen Ronbunshu, 2002, 5, pp. 209–216.
10. Bae S. Dynamic analysis of an automatic washing machine with a hydraulic balancer / S. Bae, J. M. Lee, Y. J. Kang, J. S. Kang, J. R. Yun // J. Sound Vib. - 2002. –Vol. – 257 P. - 3-18.
11. Urbiola L. Cálculo de los Efectos Inerciales Radiales y Tangenciales del Fluido del Aro de Balance / L.Urbiola // mabe TyP Internal Research Report. 2005.
12. Jung C.H. A dynamic model and numerical study on the liquid balancer used in an automatic washing machine / C.H. Jung, C.S. Kim, Y.H. Choi // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2008. – Vol. – 22. P - 1843–1852.
13. Pat. No. 20090158783. Hydrodynamic Balance Ring for Centrifugal Rotation Machines / L.Urbiola, M.Ortega, A.Thompson - Original Assignee MABE DE C V SA - Priority date 2007-12-19, - Application 2009-06-25. Pub Number US20090158783A1. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/US20090158783A1/en>
14. Urbiola-Soto L. Dynamic performance of the Leblanc balancer for automatic washing machines / L. Urbiola-Soto, M. Lopez-Parra // J. Vibr. Acoust. - 2011. Vol.- 133, 041014-1-041014-8.
15. Conrad D.C. The fundamentals of automatic washing machine design based upon dynamic constraints // Dissertation, Purdue University, ISBN 9780591345728 (1994)
16. Papadopoulos E. Modeling, design and control of a portable washing machine during the spinning cycle / E.Papadopoulos, I.Papadimitriou // Proceedings of the 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Systems (AIM 2001), 899-904.