

**Ройзман В.П.**

д.т.н., професор

Драч І.В.

к.т.н., доцент

Ткачук В.П.

к.т.н., доцент

**Хмельницький
національний
університет****Royzman V.****Drach I.****Tkachuk V.****Khmelnitskiy National
University****УДК 62-752****МЕТОД ВИПАДКОВО-
СПРЯМОВАНОГО ПОШУКУ
ЗБАЛАНСОВАНОГО СТАНУ
РОТОРА ЗІ ЗМІННИМ
ДИСБАЛАНСОМ**

Суть методу випадково-спрямованого пошуку полягає в тому, що при виході машини із дисбалансом, що змінюється від пуску до пуску, на робочий режим (наприклад віджимання у пральних машинах) контролюються вібрації і при перевищенні ними допустимого рівня машина відключається і повертається в режим полоскання. Процес виходу повторюється допоки не настане випадок оптимального розподілу мас у барабані (оптимального розкладання білизни) і вібрації ввійдуть в межі норми, що задається технічними умовами. У цьому випадку машина починає виконувати технологічну операцію віджимання. У статті висвітлено усі етапи розробки методу та результати експериментальних досліджень. Встановлено, що застосування методу випадково-спрямованого пошуку зрівноваженого стану ротора зі змінним дисбалансом дозволяє ефективно знижувати вібрації як жорстких, так і пружно-деформівних роторів і є енергозберігаючою технологією.

Ключові слова: ротор із змінним дисбалансом, незрівноваженість ротора, жорсткий ротор, метод випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора, ресурсо-енергозберігаюча технологія.

Постановка проблеми. Відгук ротора на динамічні впливи залежить від його фізичних властивостей і властивостей опорної конструкції. Вібрація, що вимірюється на опорах або на валу ротора, крім фізичних властивостей ротора залежить також від значення дисбалансу, його розподілу вздовж осі ротора, а також від частоти обертання. Вказані чинники впливають на вибір методу балансування.

Розглянутий у досліді [1, 2] метод автоматичного балансування може бути ефективно застосований лише для машин із пружно-деформівним ротором або ротором на пружних опорах. Однак, існує велика кількість машин, які мають жорсткий ротор і змінний за часом та місцем дисбаланс. Наприклад, ротор з елементами, що змінюють свою посадку. До складу таких роторів можуть входити елементи, які займають своє остаточне положення тільки після досягнення деякої частоти обертання або інших робочих умов. Після посадки таких елементів в їх остаточне положення поведінка ротора стає стабільною. Однак при цьому ротор може стати незрівноваженим, що

потребує додаткового балансування. Прикладами роторів з елементами, які змінюють свою посадку, є турбіна з дисками, що насаджені у гарячому стані; ротор, набраний з окремих пластин; ротор генератора з обмоткою мідним дротом; ротор турбогенератора, з насадженими бандажними кільцями та ін. Ротор з пружними елементами (наприклад, ротор із з'єднувальними тягами, що деформуються на високих частотах обертання; вентилятор з резиновими лопатями та ін.). Ротор, в залежності від особливостей конструкції, може потребувати проведення балансування на низькій або високій частоті обертання. Але, крім того, до складу досліджуваного ротора входять елементи, які або є пружними, або пружно закріплені так, що дисбаланс ротора може відповідним чином змінюватися зі зміною частоти обертання.

Встановлення автобалансирів на ротор таких машин є неефективним. Тому для таких машин із змінним дисбалансом пропонується метод випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора машини.



Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують два способи зменшення небажаних вібрацій у механізмі ротора – це ручне і автоматичне балансування. Ручному балансуванню присвячено чимало робіт, серед яких особливе місце посідає праця під редакцією В.А. Щепетильникова [3], в якій докладно викладено усі напрацьовані на той момент технології балансування. У книзі наводяться методики визначення дисбалансу і його зрівноваження для жорстких і пружних роторів. Недоліком ручного балансування є те, що при тривалому використанні матеріал ротора деформується і балансування доводиться проводити знову. Також ручне балансування не надає бажаних результатів, якщо центр ваги ротора займає нефіксоване положення, як це відбувається, наприклад, в пральних машинах. Ще одним недоліком цього процесу є його трудомісткість для роторів складної конструкції, особливо для пружних роторів, що було доведено Ф.М. Диментбергом [4] і О.О. Гусаровим [5].

Застосування автобалансируючих пристроїв (АБП) розв'язує більшість із цих проблем. Однак і автобалансирування не завжди є ефективним. Крім того, як буде показано нижче, метод випадково-спрямованого пошуку може суттєво підвищити ефективність рідинного автобалансира.

Більшість авторів, що вивчають динаміку роторних систем, ставили перед собою задачу підбору параметрів ротора оптимальних з точки зору зменшення вібрацій. Серед робіт, в яких розв'язуються подібні задачі, можна згадати роботу В. Я. Кальменса [6], в якій описується забезпечення вібраційної надійності машин шляхом обробки конструкцій елементів на стадії їх створення, а також одержання критеріїв вібронадійності, що відповідають безпечним умовам експлуатації. Аналогічний підхід до зменшення амплітуд вібраційного руху ротора шляхом підбору характеристик опор або профілю ротора описується у роботі А.С. Кельзона і Л.М. Малініна [7]. Тут наводяться розв'язки оптимізаційних задач, як для перехідних, так і для стаціонарних режимів роботи.

Проблемі розробки алгоритму/програми прання у пральній машині, зокрема, алгоритму розкручування барабана для віджимання білизни, присвячено багато тем на форумах фахівців-практиків [8, 9].

Формулювання мети досліджень. Ґрунтуючись на власному досвіді спостережень і досліджень у галузі зниження вібрацій, за результатах спілкування з фахівцями, які займаються ремонтом і обслуговуванням

пральних машин, а також з аналізу та досліджень певної фахової і періодичної літератури, визначено мету; розроблено альтернативний метод зменшення вібрацій ротора – метод випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора. Будемо розглядати цей метод у практичній інтерпретації, а саме для розв'язання складної, багатокритеріальної оптимізаційної задачі розподілу білизни в барабані пральної машини для подальшого набору швидкості.

Положення білизни в барабані пральної машини під час виходу на віджимання має випадковий характер, тому можливі випадки більш «хорошого», рівномірного розподілу білизни, що забезпечує допустимий рівень вібрацій, і «поганого», нерівномірного, збитого у великий дисбаланс, що викликає підвищені вібрації і галопування машини.

Суть методу випадково-спрямованого пошуку полягає в тому, що при виході машини із змінним дисбалансом на робочий режим (віджимання у пральних машинах) вимірюються вібрації і при перевищенні ними допустимого рівня машина відключається і переводиться в режим полоскання, в якому відбувається перерозподіл білизни, після чого процедура виходу повторюється і так доти, поки не настане випадок «хорошого розподілу» мас (розкладки білизни) і вібрації будуть в межах норми, заданої технічними умовами. У цьому випадку машині «дозволяється» виконувати технологічну операцію (віджимання).

У пропонованій роботі подано етапи розробки авторського методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора зі змінним дисбалансом.

Експериментальна перевірка методу проводилась на пральній машині «Айша», що має типову конструкцію, притаманну більшості сучасних пральних машин з вертикальним завантаженням білизни (рис. 1). Як було показано у роботі [2], конструкція подібних машин не дозволяє ефективно застосовувати для зниження їх вібрацій пасивні автобалансири.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Розробка електромеханічної системи методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора.

Для реалізації ідеї методу розроблена спеціальна система керування (СК) електродвигуном. СК є окремим блоком, розміщеним всередині пральної машини «Айша». СК доповнює існуючий командний апарат, розширює його можливості.

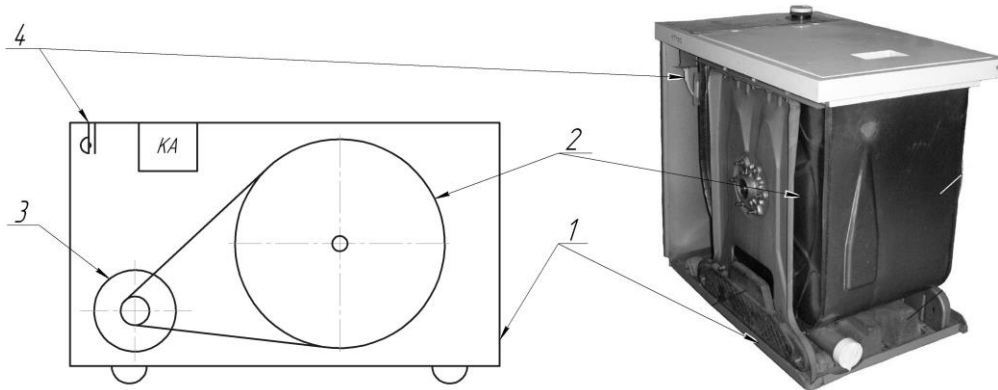
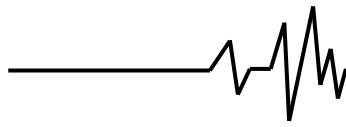


Рис. 1. Схема експериментальної установки:
1 – корпус; 2 – барабан; 3 – двигун;
4 – датчик вібрацій; КА – командний апарат

Структурна схема СК представлена на рисунку 2. Принцип її роботи полягає в наступному: коли по команді командного апарата (КА) включається режим «віджимання», виконується визначення рівня вібрацій датчиком вібрацій ДВ. Вимірювання виконуються під час виходу двигуна на робочі оберти при віджиманні. Якщо рівень вібрацій перевищить наперед задану межу (поріг), то відбувається відключення двигуна Д і віджимання припиняється на час $t_1 = 5$ с, який визначається таймером A_1 .

Відключення двигуна відбувається за рахунок відключення живлення КА, з якого подається живлення для двигуна. Після закінчення часу t_1 включається таймер A_2 , який підключає КА до живлення мережі та вмикає двигун Д в режимі полоскання на час t_2 (від 10 до 20 с), що задається цим таймером. Після закінчення часу t_2 відключається режим полоскання і КА вмикає (відновлює) операцію «віджимання». Якщо вібрації при цій спробі виходу на робочі оберти не перевищують заданої межі, то «віджимання» виконується відповідно до програми командного апарата, інакше «віджимання» зупиниться і весь цикл буде повторюватись знову до тих пір, поки не буде витримано заданий рівень вібрацій, а саме, поки не відбудеться задовільний розподіл білизни в барабані.

Вібродатчик, який жорстко закріплений на баку машини, є парою контактів, один з яких виконаний у вигляді консольної пластини з вантажем на вільному кінці (рис. 3). При вібраціях машини пластина коливається з амплітудою A , що пропорційна рівню вібрацій машини. Власна частота коливань пластини складає 30 Гц, а максимальна частота вібрацій, збурених двигуном – 7 Гц. При перевищенні наперед заданого рівня віброшвидкості коливань – 30 мм/с (поріг спрацьовування), відбувається замикання контактів, запускається таймер A_1 і вимикається живлення КА.

Виконавчі пристрої виконані на базі реле і встановлені в таймерах A_1 та A_2 .

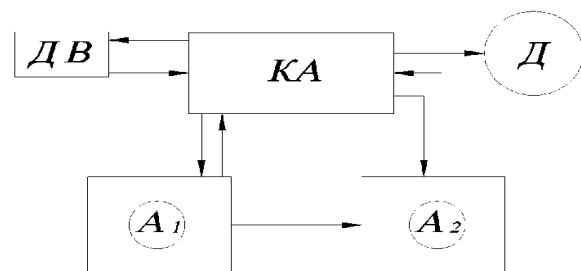


Рис. 2. Структурна схема СК електродвигуном:
КА – командний апарат; A_1 – таймер паузи;
 A_2 – таймер полоскання; ДВ – датчик вібрацій;
Д – електродвигун

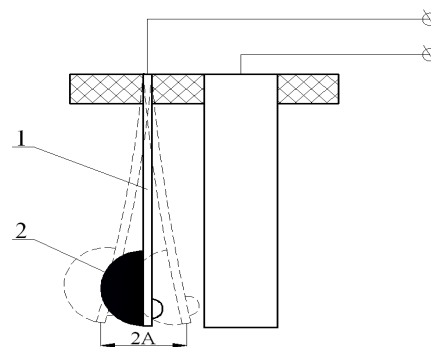


Рис. 3. Датчик вібрацій:
1 – консольна пластина; 2 – вантаж

При експериментальній перевірці методу допускалось виведення машини на режим «віджимання» з віброшвидкістю не більше 30 мм/с, при наявності в її баку найбільш несприятливої маси білизни, суха вага якої складає 1,5 кг. При більших значеннях віброшвидкості, зростання числа обертів припинялось і машина поверталась в режим полоскання. Результати цих експериментів для трьох серійних машин після 30 спроб виходу на режим «віджимання» подано у таблиці 1.



Таблиця 1

Виходи пральної машини «Айша» на режим «віджимання» при дії електромеханічної системи захисту від підвищених вібрацій за результатами 30 спроб

Номер машини	Номера пусків виходу на віджим	Відсоток пусків виходу, %
1	2, 8, 14, 20, 24	16
2	5, 12, 18, 22, 26	16
3	5, 7, 14, 21	13

Розроблена електромеханічна система може використовуватись у вигляді приставки до серійної пральної машини. Ця система виявилась найбільш ефективним засобом забезпечення допустимого рівня вібрацій машин, що мають жорсткий ротор. Для користувачів, застосування цієї системи не викличе незручностей, просто робочий цикл може бути довшим на декілька хвилини.

Наступним етапом роботи було вдосконалення розробленої СК, з метою можливості її використання без датчика вібрацій.

2. Розробка електричної системи методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора.

Запропонований у попередньому пункті метод захисту від підвищених вібрацій хоча і є ефективним, однак дещо ускладнює конструкцію машини, оскільки передбачає

введення в її конструкцію додаткового механізму (датчика вібрацій). З метою спрощення конструкції системи захисту машини від підвищених вібрацій було розроблено метод контролю дисбалансу ротора за зміною потужності, що споживається електродвигуном.

З метою встановлення можливості ідентифікувати дисбаланс ротора за зміною потужності, що споживається двигуном, було проведено ряд експериментів. Експериментальні дослідження проводились на розробленій установці на базі пральної машини «В'ятка-автомат», конструкція якої описана в роботі [2]. В електричне коло живлення електродвигуна для контролю потужності, що споживається двигуном, було включено вольтметр і амперметр. Схема включення вольтметра і амперметра в електричне коло живлення електродвигуна зображена на рис. 4.

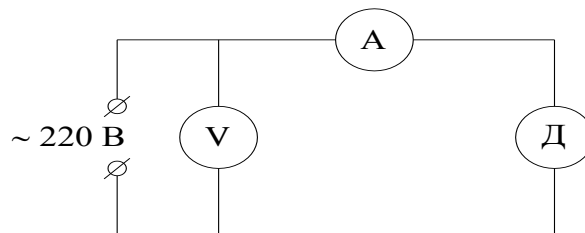


Рис. 4. Схема контролю потужності, що споживається електродвигуном

Експериментальні дослідження виконувались у наступній послідовності:

- за допомогою латера була встановлена фіксована напруга (220 В), що подавалась на електродвигун під час всіх експериментів;

- після балансування ротора установки, запускали двигун і встановлювали значення напруги та сили струму при проходженні ротора через резонанс;

- на роторі встановлювався дисбаланс, що дорівнював 500 г·см, запускався двигун, і при проходженні ротора через резонанс фіксувалися значення напруги, сили струму, напруги та амплітуди вібрації;

- послідовно збільшуючи дисбаланс ротора на 500 г·см, встановлювалися значення напруги, сили струму, напруги і амплітуди вібрації при проходженні ротора через

резонанс з дисбалансами 1000, 1500, 2000 та 2500 г·см.

Встановлено, що при дисбалансі ротора 2500 г·см потужності електродвигуна не вистачило, щоб пройти резонанс. Результати експериментальних досліджень наведені у таблиці 2. Із їх аналізу чітко виявлено, що при збільшенні дисбалансу ротора збільшується потужність, що споживається електродвигуном.

Таким чином, в принципі, було встановлено, що, контролюючи споживану потужність, можна виявити виникнення дисбалансу ротора машини, що перевищує задане значення і побудувати систему захисту машин від підвищених вібрацій, яка б реалізовувала метод випадково-спрямованого пошуку не за рівнем вібрацій, а за відповідним йому рівнем потужності.



Таблиця 2

Амплітуда вібрацій ротора і потужність, що споживається електродвигуном, при проходженні резонансу

Дисбаланс ротора, г·см	Амплітуда вібрацій 2A, мм	Потужність, Вт
0	13	86
500	22	102
1000	29	119
1500	42	150
2000	51	179
2500	Не пройшов резонанс	

На рисунку 5 зображено графік залежності потужності, що споживається електродвигуном від амплітуди коливань.

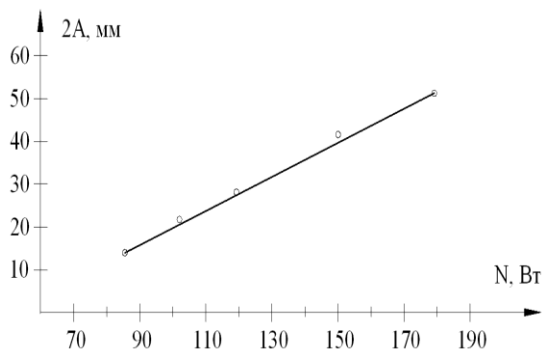


Рис. 5. Залежності потужності, що споживається електродвигуном від амплітуди коливань

Оскільки під час досліджень було встановлено, що збільшення дисбалансу призводить до збільшення споживання електроенергії, тому було прийнято рішення дослідити залежність споживаної двигуном потужності при застосуванні рідинного автобалансира.

3. Встановлення потужності, що споживається електродвигуном при проходженні ротора через резонанс із автобалансиром і без нього.

Експерименти виконувались на установці, розробленій на базі пральної машини, конструкція якої описана у роботі [2]. Регулювання потужності, що подавалась на електродвигун, виконувалось шляхом зміни напруги в колі живлення за допомогою латера. Паспортна потужність двигуна установки 180 Вт.

Дослідження витрат електроенергії, що споживається електродвигуном, при проходженні розбалансованого ротора через резонанс із автобалансиром і без нього виконували в наступній послідовності:

- відбалансовували ротор (барабан) разом з АБП і шляхом проб визначали мінімальну потужність (мінімальну напругу), яку необхідно подати на електродвигун для того, щоб він вивів ротор на робочі оберти та виконували запис вібрацій ротора на прохід. Автобалансир під час виконання даної операції був без рідини;

- розбалансовували ротор шляхом закріплення у барабані за допомогою пластиліну вантажу. Дисбаланс ротора склав 500 г·см. Шляхом спроб встановлювали мінімальну потужність, що споживається електродвигуном при проходженні ротором резонансу і виходу на робочі оберти, а також виконували запис вібрацій на прохід;

- послідовно збільшуючи дисбаланс ротора із кроком 500 г·см, встановлювали мінімальну потужність, що необхідно подавати на двигун для проходження розбалансованим ротором ($D = 500, 1000, 1500, 2000, 2500$ г·см) резонансу і виконували запис вібрацій на прохід;

- виконували аналогічні дослідження з визначення мінімальної потужності, що необхідно подати на двигун, для проходження розбалансованим ротором ($D = 1000, 1500, 2000, 2500$ г·см) резонансу і виконували запис вібрацій на прохід, при частковому наповненні рідиною камери автобалансиру ($V = 100$ мл).

Результати досліджень відображено в таблиці 3.

Таблиця 3

Потужність, що споживається електродвигуном при проходженні розбалансованим ротором резонансу та амплітуда вібрацій на резонансі

Дисбаланс ротора, г·см	Амплітуда вібрацій 2A, мм	Потужність без АБП, Вт	Амплітуда вібрацій 2A, мм	Потужність із АБП, Вт
0	13	86	9	73
500	22	102	15	87
1000	29	119	22	101



Продовження табл. 3

1500	42	150	28	114
2000	51	179	34	129
2500	Не пройшов резонанс		39	141

Проаналізувавши результати досліджень було встановлено, що застосування автобалансира дозволяє зменшити витрати електроенергії до 30 % при виході ротора на робочі оберти. Тому автоматичне балансування роторів із змінним дисбалансом є не лише ресурсозберігаючою, але і енергозберігаючою технологією. При застосуванні рідинного автобалансира можна застосовувати двигун меншої потужності.

Висновки:

1. Застосування методу випадково-спрямованого пошуку зрівноваженого стану ротора зі змінним дисбалансом дозволяє ефективно знижувати вібрації як жорстких, так і пружно-деформівних роторів.

2. Автоматичне балансування роторів зі змінним дисбалансом і метод випадково-спрямованого пошуку зрівноваженого стану ротора дозволяє суттєво знизити споживання енергії двигуном і є енергозберігаючими технологіями.

Список використаних джерел

1. Драч І.В. Аналіз і теоретичне обґрунтування роботи авто балансуєчих пристроїв з рідинними та сипкими робочими тілами [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 / Драч Ілона Володимирівна ; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький, 2008. – 20 с.

2. Ткачук В.П. Зниження вібрацій машин з горизонтальною віссю обертання і змінним дисбалансом ротора [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 / Ткачук Віталій Павлович ; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький, 2011. – 20 с.

3. Балансировка машин и приборов. / Под ред. В.А. Щепетильникова. – М.: Машиностроение – 1979. – 294 с.

4. Диментберг Ф.М. Колебания машин / Ф.М. Диментберг, К.Т. Шаталов, А.А. Гусаров. – М.: Машиностроение – 1964. – 308 с.

5. Гусаров А. А. Балансировка гибких роторов с распределенной массой. / А. А. Гусаров. – М.: Наука – 1974. – 144 с.

6. Кальменс В. Я. Обеспечение виброндежности роторных машин на основе методов подобия и моделирования / В. Я. Кальменс - СПб.: РАН – 1992. – 373 с.

7. Кельзон А.С. Управление колебаниями роторов. / А.С. Кельзон, Л.М. Малинин. - СПб.: Политехника – 1992. – 118с.

8. Алгоритм отжима белья в стиральной машине / Форум на Исходниках.Ру. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://forum.sources.ru/index.php?act=ST&f=43&t=331717>. – Назва з екрану.

9. Форум Микро-Чип / Общетеchnические вопросы / Подключение датчиков к МК в стиральной машине (защита от ЭМИ). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.microchip.su/archive/index.php/t-11346.html>.

Список джерел у транслітерації

1. Drach I.V. (2008). Analiz i teoretychne obgruntuvannia roboty avto balansuiuchykh prystroiv z ridynnymy ta sypkymy robochymy tilamy [Analysis and theoretical substantiation of work of autobalancing units with liquid and free-flowing working bodies]. *PhD thesis.* – Khmelnytskyi. KNU.

2. Tkachuk V.P. (2011). Znyzhennia vibratsii mashyn z horizontalnoiu vissiu obertannia i zminnym dysbalansom rotora [Reduction of vibration of machines with horizontal rotation axis and variable rotor imbalance]. *PhD thesis.* – Khmelnytskyi. KNU.

3. Shchepetylnykov V.A. (1979). *Balansirovka mashyn y pryborov [Balancing of machines and devices]*. M.: Mashynostroeniye. [in Russia].

4. Dymenberh F.M., Shatalov K.T., Husarov A.A. (1964). *Kolebaniya mashyn [Machine vibrations]*. M.: Mashynostroeniye. [in Russia].

5. Husarov A. A. (1974). *Balansirovka hybkykh rotorov s raspredelennoi massoi [Balancing of flexible rotors with distributed mass]*. M.: Nauka. [in Russia].

6. Kalmens V. Ya. (1992). *Obespechenye vybronadezhnosti rotornykh mashyn na osnove metodov podobyia y modelirovaniya [Providing vibro-reliability of rotary machines based on similarity and modeling methods]*. SPb.: RAN. [in Russia].

7. Kelzon A.C., L.M. Malynyn. (1992). *Upravlenye kolebaniyamy rotorov [Control of oscillations of rotors]*. SPb.: Polytekhnika. [in Russia].

8. Alhorytm otzhyma belia v styralnoi mashyne / Forum na Yskhodnykakh.Ru. [Elektronnyi resurs] – Retrieved from: <http://forum.sources.ru/index.php?act=ST&f=43&t=331717>.

9. Forum Mykro-Chyp / Obshchetechnicheskiye voprosy / Podkliuchenye



datchykov k MK v styralnoi mashyne. [Elektronnyi resurs] – Retrieved from: <http://www.microchip.su/archive/index.php/t-11346.html>.

МЕТОД СЛУЧАЙНО НАПРАВЛЕННОГО ПОИСКА СБАЛАНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РОТОРА С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ДИСБАЛАНСОМ

Роторные механизмы применяются во многих областях современной промышленности, от машиностроения до компьютерной и бытовой техники. Многие машины в процессе работы приобретают переменный по времени и месту расположения и/или случайный дисбаланс ротора. Для снижения вибраций таких механизмов предлагается метод случайно направленного поиска сбалансированного состояния ротора, как альтернатива балансировке.

Суть метода случайно направленного поиска заключается в том, что при выходе машины с изменяющимся от пуска к пуску дисбалансом на рабочий режим (например отжим в стиральных машинах) контролируются вибрации и при превышении ими допустимого уровня машина отключается и возвращается в режим полоскания. Процедура выхода повторяется до тех пор, пока не наступит случай оптимального распределения масс (раскладки белья) и вибрации войдут в пределы нормы, заданной техническими условиями. В этом случае машине "разрешается" выполнять технологическую операцию, то есть работать на рабочих оборотах отжима. В статье освещены все этапы разработки метода и результаты экспериментальных исследований. Установлено, что применение метода случайно направленного поиска уравновешенного состояния ротора с переменным дисбалансом позволяет эффективно снижать вибрации как жестких, так и упруго-деформируемых роторов и является энергосберегающей технологией.

Ключевые слова: ротор с переменным дисбалансом, неуравновешенность ротора, жесткий ротор, метод случайно направленного поиска сбалансированного состояния ротора, ресурсо-энергосберегающая технология.

A METHOD RANDOMLY DIRECTED SEARCH OF STATE BALANCED ROTOR WITH VARIABLE UNBALANCE

Rotary mechanisms are used in many areas of modern industry, from mechanical engineering to computer and home appliances. Lots of machines obtain in the process of work a variable or random imbalance of the rotor according to time and location. To reduce the vibrations of such mechanisms, a method of randomly searching for a balanced state of the rotor is proposed, as an alternative to balancing.

The essence of the method of randomly directed search is that when the machine leaves the unbalance changing from start-up to start-up to the operating mode (for example, spinning in washing machines), the vibrations are controlled and when the level is exceeded, the machine is turned off and rinsed. The exit procedure is repeated until the optimal distribution of the masses (the layout of the laundry) and the vibrations are within the limits of the specification given by the technical conditions. In this case, the machine is "allowed" to carry out the technological operation, that is, to work at the working spin speeds. The article covers all stages of the development of the method and the results of experimental studies. It is established that the application of the method of randomly directed search for a balanced state of the rotor with variable imbalance makes it possible to reduce effectively the vibrations of both rigid and elastically deformed rotors and is an energy-saving technology.

Keywords: rotor with variable unbalance, rotor unbalance, rigid rotor, randomly directed search method for balanced rotor state, resource-energy-saving technology.

Відомості про авторів

Ройзман Вілен Петрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки та зв'язку Хмельницького національного університету (вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 280016, e-mail: iftommm@ukr.net).

Драч Ілона Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Хмельницького національного університету (вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 280016, e-mail: cogitare410@gmail.com).

Ткачук Віталій Павлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування Хмельницького національного університету (вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 280016, e-mail: tkachukv.p@gmail.com).



Ройзман Вилен Петрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и связи Хмельницкого национального университета (ул. Институтская, 11, г. Хмельницкий, Украина, 280016, e-mail: iftomm@ukr.net).

Драч Илона Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инженерии программного обеспечения Хмельницкого национального университета (ул. Институтская, 11, г. Хмельницкий, Украина, 280016, e-mail: cogitare410@gmail.com).

Ткачук Виталий Павлович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения Хмельницкого национального университета (ул. Институтская, 11, г. Хмельницкий, Украина, 280016, e-mail: tkachukv.p@gmail.com).

Royzman Vilen – Doctor of technical Sciences, Professor, head of Department of Telecommunications and Radio Engineering Khmelnytsky National University (Institutskaya 11, Khmelnytsky, 280016, Ukraine, e-mail: iftomm@ukr.net).

Drach Ilona – Candidate of Technical sciences, associate Professor the Department of Software Engineering Khmelnytsky National University (Institutskaya 11, Khmelnytsky, 280016, Ukraine, e-mail: cogitare410@gmail.com).

Tkachuk Vitalii – Candidate of Technical sciences, associate Professor the Department of Engineering Techniques, Khmelnytsky National University (Institutskaya 11, Khmelnytsky, 280016, Ukraine, e-mail: tkachukv.p@gmail.com).