

О.В. Коваленко, асп., Г.Б. Філімоніхін, проф., д-р техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

В.М. Ващенко, зам. гол. конструктора

ВАТ «Завод «Фиолент»

Технічні рекомендації із застосування пасивних автобалансирів для зрівноваження дисків ручних шліфувальних машин

Запропоновані загальні технічні рекомендації з послідовності проектування і встановлення пасивних автобалансирів на вал ручних шліфувальних машин, наведений приклад вибору типу автобалансира, та розрахунку його основних параметрів для машини МШУ1-23-230 виробництва ВАТ «Завод «Фиолент», та результати проведених на заводі виробничих випробувань.

ротор, автобалансир, зрівноважування, дисбаланс, ручна шліфувальна машина

Вступ. Для зрівноваження на ходу дисків ручних шліфувальних машин (далі РШМ) провідні виробники застосовують кульові автобалансируючі пристрої (далі АБ). У роботах [1,2] були розроблені кульові АБ нової конструкції – із перегородками, призначені для зрівноваження роторів із похилою віссю обертання. У роботі [3] зроблена оцінка різних способів встановлення АБ на шпиндель РШМ, наведені алгоритми розрахунків основних параметрів як звичайних, так і запропонованих АБ, розглянуті основні параметри стендів для проведення експериментальних досліджень. У роботі [4] експериментально досліджувався процес зрівноваження АБ дисків РШМ на холостому ході машини. Були виявлені переваги у роботі АБ з рухомими й нерухомими перегородками над звичайними АБ. У роботі [5] експериментально досліджена ефективність застосування АБ для зменшення вібрацій РШМ. Дослідження проведені на автоматичному стенді при різних режимах роботи РШМ. Ефективність роботи АБ оцінювалася за зменшенням середньоквадратичного віброприскорення і його складових, викликаних дисбалансами диска і якоря електродвигуна. Вібрації вимірювалися на корпусі РШМ.

У даній роботі пропонуються загальні технічні рекомендації щодо вибору типу АБ та розрахунку його основних параметрів при зрівноваженні дисків РШМ.

1. Технічні рекомендації з послідовності проектування і встановлення АБ на вал РШМ.

а) Обрання місця розташування та типу встановлення АБ (рис. 1). До конструкції РШМ з АБ, як кутових (КШМ, рис. 1, а), так і прямих (ПШМ, рис. 1, б), входять: корпус 1; вал 3; захисний кожух 4; затискний фланець 5; диск 6; фланцева гайка 7.

Можливі такі типи встановлення АБ:

- стаціонарне встановлення перед захисним кожухом (поз. 2);

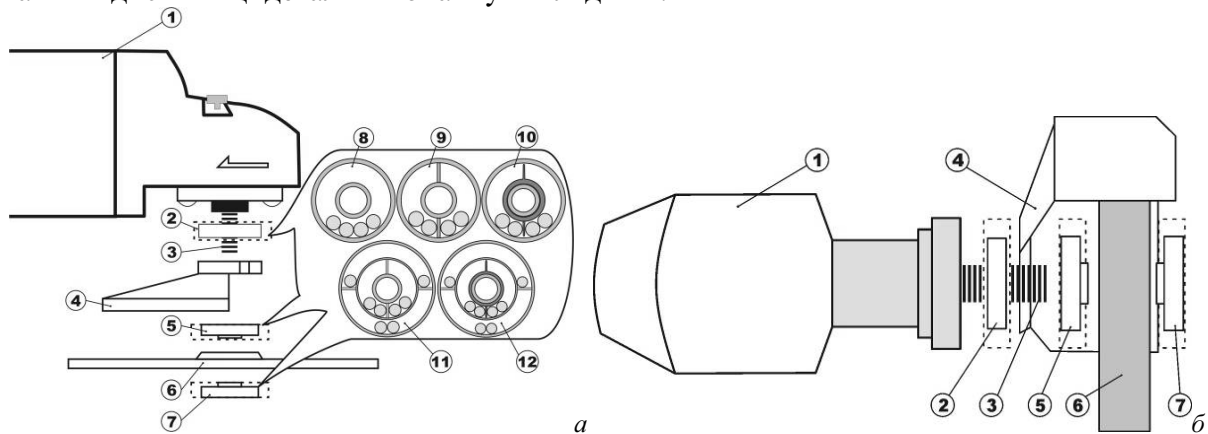
- стаціонарне встановлення за захисним кожухом перед диском із суміщенням АБ із затискним фланцем (поз. 5);

- з'ємне встановлення із суміщенням АБ із затискним фланцем (поз. 5);

- з'ємне встановлення із суміщенням АБ із фланцевою гайкою (поз. 7).

Рекомендується встановлювати АБ на вал РШМ як можна ближче до площини диска. В цьому випадку можливе суміщення АБ із затискним фланцем (поз. 5) чи

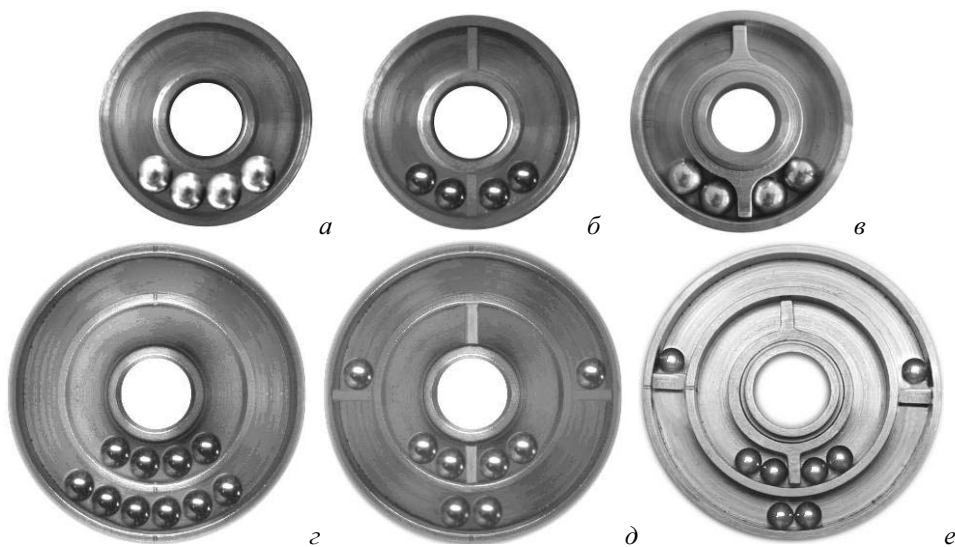
фланцевою гайкою (поз. 7). Тоді при використанні малих дисків доцільно буде застосовувати звичайний затискний фланець чи фланцеву гайку, а при використанні важких дисків – ці деталі виконані у вигляді АБ.



а – кутова РШМ; б – пряма РШМ
Рисунок 1 - Схематичний вид РШМ з АБ

б) Вибір типу АБ. Рекомендується використовувати однорядні та двохранні АБ. На рис. 1, рис. 2 зображені різні типи кульових АБ.

При використанні звичайних АБ – однорядних чи двохранних (рис. 2, а, г) слід мати на увазі, що в них необхідно використовувати мастило, параметри якого важко підібрати. Мастило потребує герметизації корпуса АБ, що ускладнює його виготовлення. Мастило призводить до застою куль і як наслідок – зменшує точність зрівноважування дисбалансу [4].



а – звичайний, однорядний; б - з фіксованою перегородкою, однорядний;
в - з рухомою перегородкою, однорядний; г – звичайний, двохранний;
д – двохранний з нерухомими перегородками; е – двохранний комбінований
(з нерухомими та рухомими перегородками)

Рисунок 2 – Фото різних типів кульових АБ

Рекомендується використовувати АБ із перегородками. Загальні переваги цих АБ полягають у тому, що вони не потребують для роботи мастила, при різкій зміні швидкості обертання диска кулі виходять на перегородки й займають симетричне

положення щодо диска, в наслідок чого не вносять додаткового дисбалансу, чим забезпечується спокійний розгін і гальмування диска.

Додаткова перевага АБ із нерухомими перегородками (рис. 2, б, д) – синхронний розгін куль разом з диском, найбільша швидкість настання автобалансування. Недолік – асиметрія балансувальної ємності АБ у різних радіальних напрямках.

Додаткова перевага АБ із рухомими перегородками (рис. 2, в) – симетрія балансувальної ємності, рухома втулка з перегородками відіграє роль демпфера крутильних коливань. Недолік – кулі розганяються не синхронно з диском, у зв'язку з чим автобалансування настає не так швидко, як в АБ із нерухомими перегородками (але швидше, ніж у звичайному АБ).

в) Розрахунок необхідної балансувальної ємності АБ ([3], алгоритм I) і його параметрів ([3], алгоритми II-VII). Загальна методика полягає у тому, що визначивши максимальний дисбаланс диска після розбалансування за ДСТУ EN ISO 8662-4-2001 [6], можна визначити параметри певного типу АБ, який усуне даний дисбаланс.

г) Технічні вимоги до якості виготовлення АБ. По можливості конструкція АБ повинна забезпечувати доступ до бігових доріжок АБ після його встановлення на РШМ.

По можливості необхідно перевірити якість встановлення АБ - механічні биття бігової доріжки не повинні перевищувати гранично допустимих значень: $\Delta_{\max} < 0,01\text{мм}$ - для радіальних, $\delta_{\max} < 0,01\text{мм}$ - для торцевих.

При стаціонарному встановленні АБ на вал РШМ проводиться одноразова перевірка биттів, а при з'ємному – дві, із розворотом корпусу АБ на 0° і 180° . При необхідності пропонується виправити форму бігової доріжки механічною обробкою. По можливості перевірити зрівноваженість корпусу АБ та при необхідності зрівноважити.

2. Приклад вибору та розрахунку основних параметрів АБ для МШУ1-23-230 виробництва ВАТ «Завод «Фиолент».

а) Місце розташування АБ та тип встановлення - з'ємне встановлення із суміщенням АБ із фланцевою гайкою.

б) Тип АБ – дворядний з нерухомими перегородками.

в) Розрахунок необхідної балансувальної ємності АБ і його параметрів (рис.3).

Технічні характеристики КШМ: діаметр диска - 230 мм; частота обертання неробочого ходу – 6500 об/хв; вага (без шнура живлення й додатків): 4,6 кг.

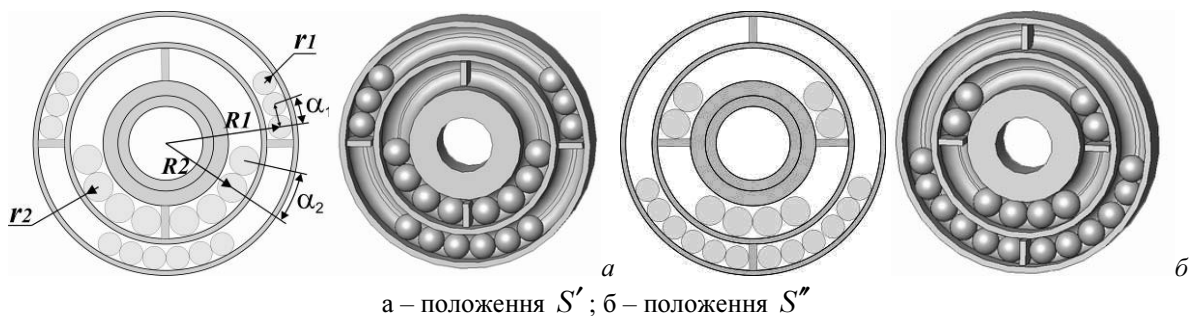


Рисунок 3 – Балансувальні ємності дворядного АБ з перегородками

1. Введення розрахункових даних: Найбільший дисбаланс диска (ДСТУ EN ISO 8662-4-2001 [6]) - $SD_{\max} = 305 \text{ г}\cdot\text{мм}$.

2. Розрахунок допоміжних кутів α_1, α_2 для положень S', S'' за алгоритмом II [3]

2.1. Введення розрахункових даних: радіус від центра обертання до центра мас кулі - $R_1 = 40 \text{ мм}$, $R_2 = 20 \text{ мм}$.

2.2. Введення радіуса кулі і маси: $r_1 = 3$ мм, $r_2 = 3,57$ мм, $m_1 = 0,887$ г, $m_2 = 1,50$ г.;

2.3. Визначення величини допоміжних кутів α_1, α_2 :

$$\alpha_1 = 2\arcsin(r_1 / R_1) = 0,15 \text{ рад}, \quad \alpha_1 \cdot 180 / \pi = 8,6 \text{ град.}$$

$$\alpha_2 = 2\arcsin(r_2 / R_2) = 0,35 \text{ рад}, \quad \alpha_2 \cdot 180 / \pi = 20,57 \text{ град.};$$

3. Розрахунок балансувальної ємності АБ для положення S' .

3.1. Розрахунок балансувальної ємності зовнішнього АБ $S'_1(n_1)$ за алгоритмом V [3].

3.1.1. Визначення дисбалансу куль під перегородками:

$$S_1(n_1) = 2m_1R \sum_{i=1}^{n_1/2} \cos[(i-1)\alpha_1 + \alpha_1 / 2].$$

3.1.2 Визначення дисбалансу куль над перегородками:

$$S_2(n_1) = 2m_1R \sum_{i=1}^{n_1/2} \sin[(i-1)\alpha_1 + \alpha_1 / 2].$$

3.1.3 Визначення балансувальної ємності зовнішнього АБ:

$$S'_1(n_1) = S_1(n_1) - S_2(n_1).$$

3.2. Розрахунок балансувальної ємності внутрішнього АБ $S'_2(n)$ за алгоритмом III [3]:

$$S'_2(n_2) = 2m_2R \sum_{i=1}^{n_2/2} \cos[\alpha_2 / 2 + (i-1)\alpha_2].$$

3.3. Балансувальна ємність двохрядного АБ для положення S' :

$$S'(n_1, n_2) = S'_1(n_1) + S'_2(n_2).$$

$$S'(8,4) = 295 \text{ г}\cdot\text{мм}, \quad S'(8,8) = 351 \text{ г}\cdot\text{мм}, \quad S'(12,8) = 357 \text{ г}\cdot\text{мм}.$$

4. Розрахунок балансувальної ємності АБ для положення S'' .

4.1. Розрахунок балансувальної ємності зовнішнього АБ $S''_1(n_1)$ за алгоритмом III [3]:

$$S''_1(n_1) = 2m_1R \sum_{i=1}^{n_1/2} \cos[\alpha_1 / 2 + (i-1)\alpha_1].$$

4.2. Розрахунок балансувальної ємності внутрішнього АБ $S''_2(n_2)$ за алгоритмом V [3].

4.2.1 Визначення дисбалансу куль під перегородками:

$$S_1(n_2) = 2m_2R \sum_{i=1}^{n_2/2} \cos[(i-1)\alpha_2 + \alpha_2 / 2].$$

4.2.2 Визначення дисбалансу куль над перегородками:

$$S_2(n_2) = 2m_2R \sum_{i=1}^{n_2/2} \sin[(i-1)\alpha_2 + \alpha_2 / 2].$$

4.2.3 Визначення балансувальної ємності АБ:

$$S''_2(n_2) = S_1(n_2) - S_2(n_2).$$

4.3. Балансувальна ємність двохрядного АБ положення S'' :

$$S''(n_1, n_2) = S''_1(n_1) + S''_2(n_2).$$

$$S''(8,4) = 336 \text{ г}\cdot\text{мм}, \quad S''(8,8) = 288 \text{ г}\cdot\text{мм}, \quad S''(12,8) = 391 \text{ г}\cdot\text{мм}.$$

5. Визначення мінімальної та максимальної балансувальної ємності двохрядного АБ

$$S_{\min} = \min(S', S''), \quad S_{\max} = \max(S', S''),$$

$$S_{\min}(8,4) = 295 \text{ г}\cdot\text{мм}, \quad S_{\min}(8,8) = 288 \text{ г}\cdot\text{мм}, \quad S_{\min}(12,8) = 357 \text{ г}\cdot\text{мм},$$

$$S_{\max}(8,4) = 336 \text{ г}\cdot\text{мм}, \quad S_{\max}(8,8) = 351 \text{ г}\cdot\text{мм}, \quad S_{\max}(12,8) = 391 \text{ г}\cdot\text{мм}.$$

6. За алгоритмом VI [3] перевіряємо найближчу до $SD_{\max} = 305 \text{ г}\cdot\text{мм}$ ємність АБ.

6.1 Введення розрахункових даних: Необхідний мінімальний запас ємності АБ $3\eta\% = 15\%$;

6.2 Найближча балансувальна ємність: $S_{\min}(12,8) = 357 \text{ г}\cdot\text{мм}$, $S_{\max}(12,8) = 391 \text{ г}\cdot\text{мм}$.

6.3 Перевірка запасу ємності:

$$\eta\% = (S_{\min} - SD_{\max}) / SD_{\max} \cdot 100 = 17,3\% > 15\%.$$

7. Виведення результатів розрахунку.

Основні параметри АБ: $n_1 = 12 \text{ шт.}$, $n_2 = 8 \text{ шт.}$, $m_1 = 0,88 \text{ г}$, $m_2 = 1,5 \text{ г}$.

Балансувальна ємність: $S_{\min} = 357 \text{ г}\cdot\text{мм}$, $S_{\max} = 391 \text{ г}\cdot\text{мм}$.

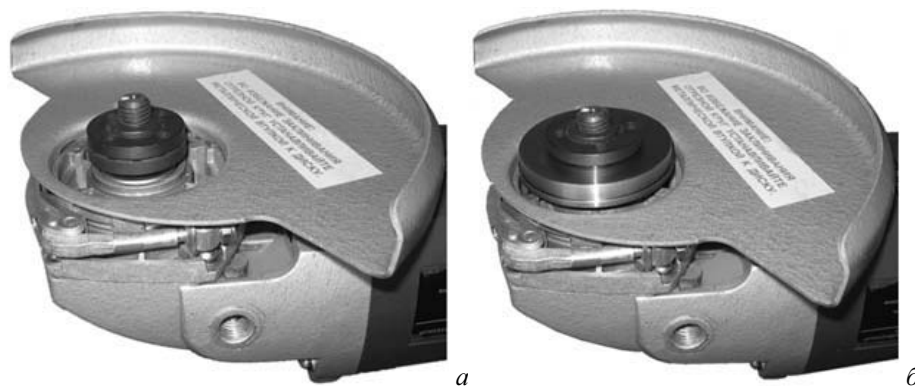
Запас ємності: $\eta\% = 17,3\%$.

3. Виробничі випробування. Виробничі випробування проводились на підприємстві виробнику РШМ ВАТ "Завод "Фіолент" м. Сімферополь. Була досліджена модель РШМ МШУ1-23-230. Для даної моделі за технічними рекомендаціями КНТУ завод-виробник РШМ, з урахуванням своїх можливостей, виготовив дослідницьку модель АБ у вигляді план шайби (рис. 4, 5). Ця модель може бути як з рухомою, так і з нерухомою перегородкою.



а - деталі, б – положення куль при максимальній балансувальній ємності,
в – положення куль при мінімальній балансувальній ємності

Рисунок 4 - Зовнішній вигляд АБ



а - з затискним фланцем; б - з АБ у вигляді затискного фланця

Рисунок 5 – Ручна шліфувальна машина

За спільно розробленою програмою були проведені виробничі випробування, з яких було встановлено, що АБ зменшує віброприскорення РШМ двома способами:

а) як автобалансир – зменшує віброприскорення від дисбалансу диска за рахунок приходу куль у положення, у якому вони зрівноважують диск на неробочому та робочому ходу на $5\div 95\%$;

б) як демпфер коливань - зменшує віброприскорення від дисбалансу якоря на неробочому та робочому ходу на $5\div 25\%$.

Економічним відділом ВАТ «Завод «Фиолент» було розраховано, що річний економічний ефект при експлуатації РШМ з АБ у кінцевого споживача (на одній РШМ) складе 4511 грн. Загальна кількість АБ, запланованих до випуску – 3000 шт. Загальний економічний ефект (у кінцевих споживачів) від впровадження АБ – 13533000 грн.

За результатами випробувань прийняте рішення про доцільність серійного виробництва АБ на ВАТ „Завод „Фиолент”.

Висновки. Створені технічні рекомендації дозволяють провести розрахунок основних параметрів АБ для зрівноваження дисків РШМ та забезпечити його працездатність на РШМ.

Застосування АБ дозволяє:

- зменшити сумарне середньоквадратичне значення віброприскорення як на неробочому, так і робочому ходу на $5\div 59\%$;

- подовжити строк експлуатації РШМ на $20\div 40\%$ за рахунок зменшення навантажень на вал машини.

Величина віброприскорення РШМ під час типового випробування не перевищує гранично допустиме значення $2,5 \text{ м/с}^2$ за директивою безпеки машин №89/392/ЄЕС, ДСТУ EN 28662-1-2001 [7].

Список літератури

1. Пат. 26788 України, МПК G01M 1/38 Автобалансирующий пристрій для зрівноваження роторів із похилою віссю обертання / Філімоніхін Г.Б., Яцун В.В., Коваленко О.В. ; заявник та патентовласник Кіровоградський нац. техн. університет. – №200704757; заявл. 27.04.2007; опубл. 10.10.2007, Бюл.№16.
2. Пат. 35261 України, МПК G01M 1/100 Автобалансирующий пристрій для зрівноваження роторів із похилою віссю обертання / Філімоніхін Г.Б., Яцун В.В., Коваленко О.В. ; заявник та патентовласник Кіровоградський нац. техн. університет. – №200804424; заявл. 07.04.2008; опубл. 10.09.2008, Бюл.№17.
3. Філімоніхін Г.Б. Розрахунок параметрів автобалансирів для зрівноваження дисків ручних шліфувальних машин / Філімоніхін Г.Б., Коваленко О.В. // Загальнодержавний міжвідомчий н.-т.

- збірник "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин", КНТУ, 2007.- Вип. № 37.
4. Філімоніхін Г.Б. Експериментальне дослідження процесу зрівноваження автобалансирами дисків ручних шліфувальних машин/ Філімоніхін Г.Б., Коваленко О.В. // Всеукраїнський н.-т. журнал „Вібрації у техніці та технологіях ”. –2007.- №3 (48).- С. 118-123.
 5. Коваленко О.В. Експериментальне дослідження ефективності застосування кульових автобалансирів для зменшення вібрацій ручних шліфувальних машин / Коваленко О.В., Філімоніхін Г.Б. // Загальнодержавний міжвідомчий н.-т. збірник “Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин”, 2008.- Вип. №38.
 6. ДСТУ EN ISO 8662-4-2001. Інструменти ручні переносні приводні вимірювання вібрацій на рукоятці. Частина 4. Інструменти шліфувальні. ДСТУ EN 28662-1-2001. Інструменти ручні переносні приводні вимірювання вібрацій на рукоятці. Частина 1. Загальні положення.

Предложены общие технические рекомендации по последовательности проектирования и установки, пассивных автобалансиров на вал ручных шлифовальных машин, приведен пример выбора типа автобалансира и расчета его основных параметров для машины МШУ1-23-230 производства ОАО "Завод "Фиолент", и результаты проведенных на заводе производственных испытаний.

General technical recommendations are offered from the sequence of planning and setting, passive autobalancers to the billow of hand polishing machines, resulted example of choice and calculation of basic parameters of autobalancers for the machine of МНУ-23-230 of production of factory "Fiolent", and results of the production tests conducted at the plant.