

Експериментальне дослідження ефективності застосування кульових автобалансирів для зменшення вібрацій ручних шліфувальних машин

Для ручної шліфувальної машини (РШМ) Expert 230 експериментально досліджена ефективність застосування кульових автобалансирів (АБ) для зменшення вібрацій. 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.

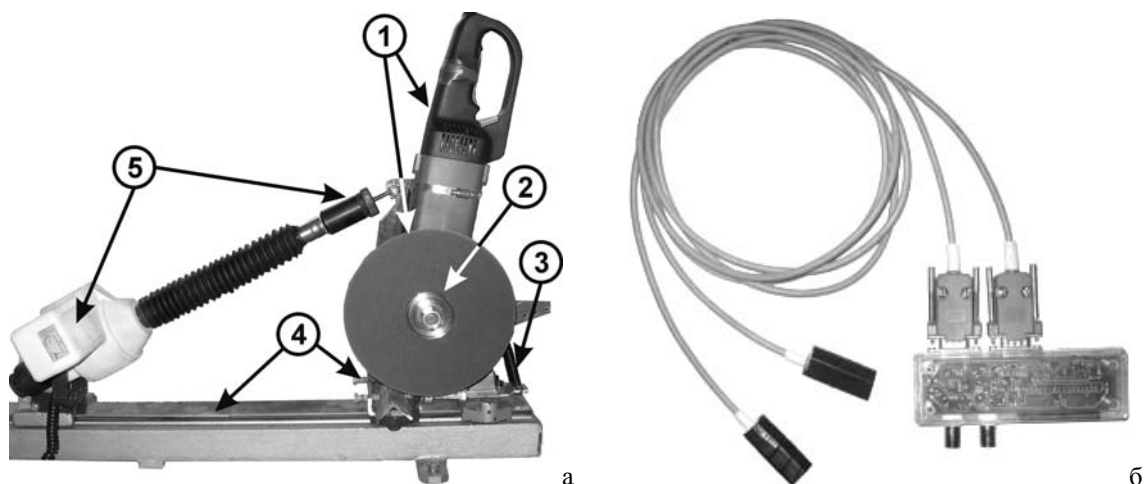
ротор, автобалансир, зрівноважування, дисбаланс, ручна шліфувальна машина

Для зрівноваження на ходу дисків РШМ провідні виробники (Kress, Milwaukee, PROTOOL, FEIN) застосовують кульові АБ. Їх недоліком є використання мастила для розгону куль, неспокійний розгін і гальмування машини. У роботах [1-3] були запропоновані нові АБ з нерухомими й рухомими перегородками, вільні від вказаних недоліків. В роботі [1] були наведені алгоритми розрахунків основних параметрів як звичайних, так і запропонованих АБ, описаний стенд, призначений для дослідження динаміки РШМ з АБ. У роботі [4], для РШМ Expert 230 експериментально досліджений процес зрівноважування дисків різними типами кульових АБ на холостому ході РШМ, виявлені переваги у роботі нових АБ над звичайними. У цій роботі досліджуються вібраційні характеристики РШМ без АБ і з АБ у різних режимах роботи, оцінюється ефективність роботи АБ по зменшенню трьох вібрацій на корпусі машини – сумарної, від дисбалансу диска і від дисбалансу якоря електродвигуна.

Автоматичний стенд, на якому проводилися дослідження, створений для РШМ середньої й великої потужності (рис. 1, а). Він складається з РШМ 1, АБ 2, опори 3, універсальної станини 4, пристрою подачі (для різання) 5. Стенд дозволяє визначати частоту обертання диска за допомогою стробоскопа-тахометра, автоматично різати арматуру за допомогою пристрою подачі, спостерігати за відносними рухами куль за допомогою стробоскопа, фіксувати рух і положення куль відносно диска за допомогою відеокамери і фотоапарата, вимірювати віброприскорення й робити спектральний аналіз коливань РШМ за допомогою датчиків акселерометрів ММА7260Q (2х осьовий – 1,5g; 2g; 4g; 6g), ММА6231Q 2АХ (3х осьовий – 10g), які з'єднані з персональним комп'ютером через аналогово-цифрову плату осцилографа ADXL202 EB-232А з USB інтерфейсом.

Дослідження проводилися для РШМ Expert 230 мм (рис. 1, а). Вібрації вимірювалися відповідно до ГОСТ [6-12], але для усунення впливу віброізоляції ручки, що поглинає до 70% вібрацій (див. US PATENT №5170532, № 7252156.B2 та інші) датчики встановлювалися на корпусі РШМ.

Датчики акселерометри вимірюють віброприскорення у площині диска на корпусі машини (рис. 1). Під час проведення експериментів вимірялося віброприскорення (режим осцилографа) і розмахи та частоти складових коливань (режим спектрального аналізатора).



а – установка; б – аналогово-цифрова плата осцилографа з датчиками віброприскорення

Рисунок 1 – Дослідницький стенд

Нижче описуються проведені експерименти і одержані результати.

У експерименті 1 визначалися вібраційні характеристики РШМ до модернізації (до установки АБ) при роботі на холостому ходу у наступних конфігураціях (К):

1 – без диска й без фіксуючих фланців (рис. 2);

2 – з фіксуючими фланцями, алмазним відрізним диском Spitce 1A1RSS 230;

3 – з затискними фланцями, відрізним диском по металу LugaABRASIV 14A 40 T2 БУ.

Результати першого експерименту занесені у табл. 1.

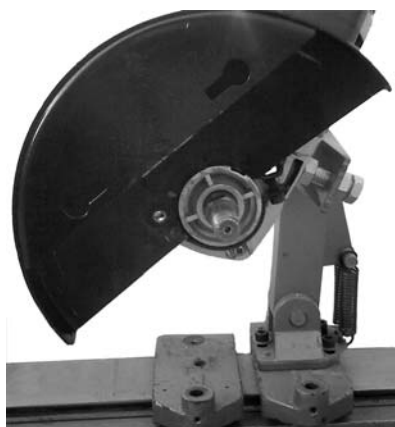


Рисунок 2 – РШМ на холостому ходу без диска

Таблиця 1 – Результати експеримента 1

К. №	Спектр (Гц) і інтенсивність коливань, мВ		Вібропри- скорення, м/с ²
	U_1 (95 Гц)	U_2 (380 Гц)	середньо квадратичні
1.	65	210	5,2
2.	405	270	11,2
3.	200	265	7,5

Було виявлено наявність двох складових коливань, перша – від дисбалансу диска (частота 95 Гц), друга – від дисбалансу якоря (частота 380 Гц) – рис. 3. По ним були підраховані середньоквадратичні значення віброприскорень. Обчислення проводилися відповідно до вимог ДСТ [6-7] за такими формулами.

Амплітуди віброприскорення

$$A_1 = k \cdot U_1 / 2, \quad A_2 = k \cdot U_2 / 2, \quad (1)$$

де $k = 0,067 \text{ мм}/(\text{с}^2 \cdot \text{мВ})$ - коефіцієнт переведу напруження у віброприскорення для датчика віброприскорень MMA6231Q 2AX із чутливістю 4g;

U_1 – розмах коливань віброприскорення на частоті обертання диску РШМ, мВ;

U_2 – розмах коливань віброприскорення на частоті обертання вала РШМ, мВ.

Середньоквадратичне значення віброприскорення

$$A_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} A_k^2} = \sqrt{\frac{1}{2} (A_1^2 + A_2^2)} . \quad (2)$$

Було встановлено, що:

- алмазний відрізний диск Spitce 1A1RSS 230 – незрівноважений по другому класу точності ДСТ [13];
- відрізний диск по металу LugaABRASIV 14A 40 T2 БУ – зрівноважений по другому класу точності ДСТ [13].

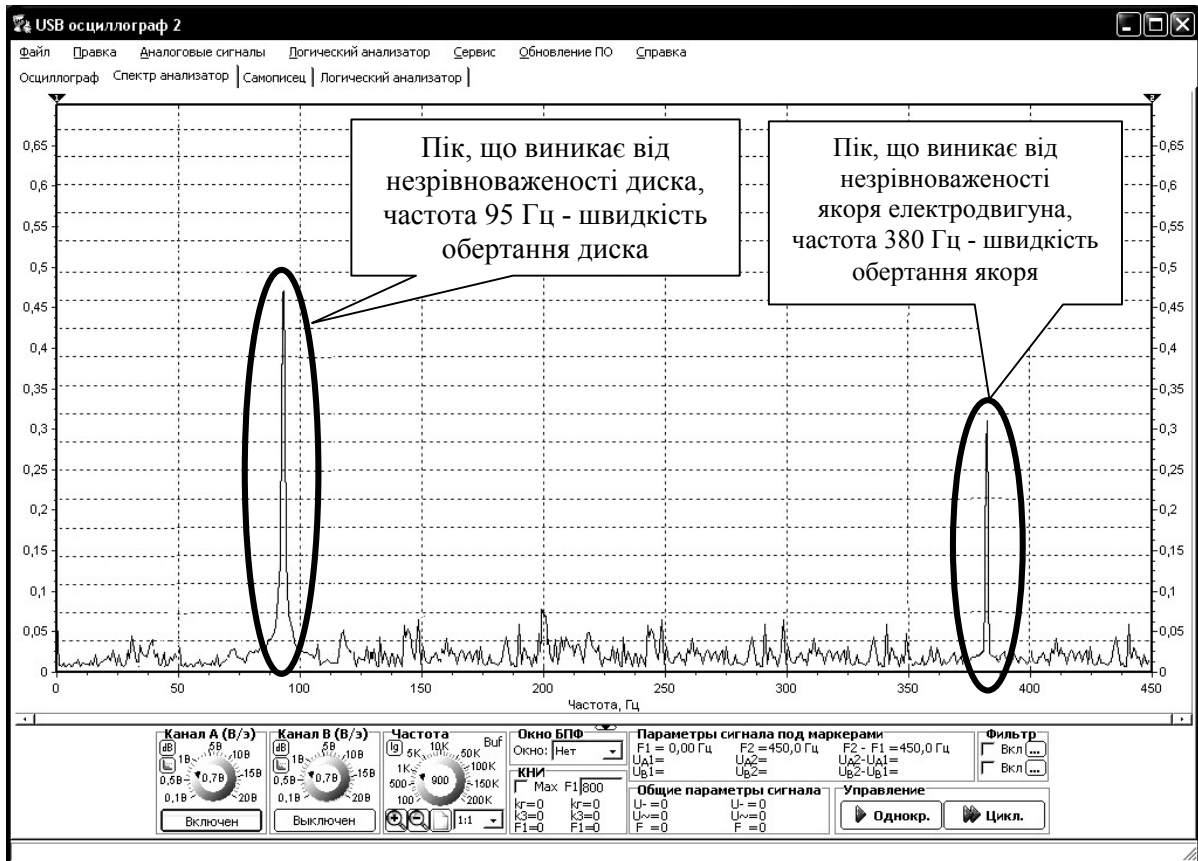


Рисунок 3 – Типовий спектральний аналіз вібрацій РШМ з незрівноваженим диском на холостому ходу

Також на універсальному стенді були перевірені РШМ великої потужності декількох провідних виробників (DWT 230 TT, STAYER SA 230, BOSCH GWS 20-230H) і було встановлено, що вони також мають дві істотні складові коливаль, перша – від дисбалансу диска, друга – від дисбалансу якоря (рис. 3).

Наступні експерименти порівнюють вібраційні характеристики РШМ до і після модернізації.

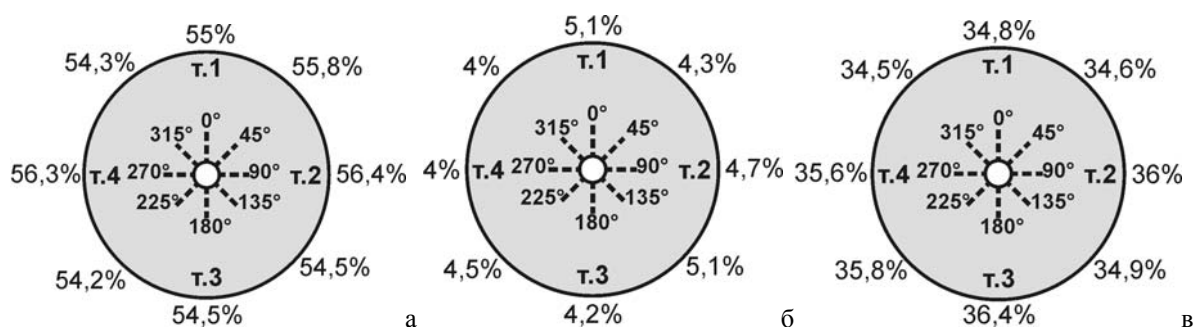
В експерименті 2 – досліджується ефективність роботи АБ при зрівноваженні алмазного відрізного диска (Spitce 1A1RSS 230) без додаткового дисбалансу на холостому ходу РШМ. На диск наноситься шкала кутів з кроком 45^0 (рис. 4). Диск послідовно встановлюється на РШМ з поворотом на 45^0 . Після кожної нової установки проводиться запуск РШМ на холостому ходу та визначаються вібраційні характеристики у таких конфігураціях: 1 – РШМ без АБ; 2 – РШМ з АБ.

За результатами експерименту було заповнено табл. 2 – стовпчик «Спектр та розмах коливаль», та заповнений стовпчик «Віброприскорення» за результатами розрахунків, проведених по формулам, що наведені вище.

Таблиця 2 – Результати експеримента 2

Гр.	К. №	Спектр і розмах коливань, мВ				Віброприскорення, м/с ²			
		U_1 (95 Гц)	U_1 еф-ть %	U_2 (380 Гц)	U_2 еф-ть %	амплі- туда A_1	амплі- туда A_2	середньо- квадратичні	еф-ть ср. кв. %
0° (Т.1)	1.	400	55	273	5,1	13,40	9,14	11,47	34,8
	2.	180		259		6,03	8,67	7,47	
45°	1.	405	55,8	279	4,3	13,56	9,34	11,65	34,6
	2.	179		267		5,99	8,94	7,61	
90° (Т.2)	1.	413	56,4	273	4,7	13,83	9,14	11,72	36
	2.	180		260		6,03	8,71	7,49	
135°	1.	404	54,5	273	5,1	13,53	9,14	11,55	34,9
	2.	183		259		6,13	8,67	7,51	
180° (Т.3)	1.	409	55,4	260	4,2	13,70	8,71	11,48	36,4
	2.	182		249		6,09	8,34	7,30	
225°	1.	413	54,2	263	4,5	13,83	8,81	11,59	35,8
	2.	189		251		6,33	8,40	7,44	
270° (Т.4)	1.	412	56,3	273	4	13,80	9,14	11,70	35,6
	2.	180		262		6,03	8,77	7,53	
315°	1.	405	54,3	271	4	13,56	9,07	11,54	34,5
	2.	185		260		6,19	8,71	7,55	

За результатами табл.2 побудовані діаграми ефективності застосування АБ – рис. 4.



а – від дисбалансу диска, б – від незрівноваженості якоря, в – середньоквадратичних

Рисунок 4 — Ефективність застосування АБ, розрахована по зменшенню віброприскорень

Встановлено зменшення АБ середньоквадратичних віброприскорень на 35,3%. АБ значно зменшує складову вібрацій від дисбалансу диску (55,2%) за рахунок приходу куль у положення, у якому вони зрівноважують дисбаланс, і дещо демпфірує складову коливань від незрівноваженості якоря (4,48%), через розсіювання енергії цих коливань при коливанні куль в околі положення, у якому вони зрівноважують диск.

Слід зазначити, що дисбаланс якоря зрівноважується коригувальними надрізами (рис. 5), проте якір має залишковий дисбаланс. Навіть зрівноважений якір вносить значну складову у віброприскорення, оскільки обертається у 4 рази швидше диска, а значить при однаковому дисбалансі з диском віброприскорення якоря буде в 16 разів більше.

У експерименті 3 – досліджується ефективність роботи АБ при зрівноваженні алмазного відрізного диска (Spitce 1A1RSS 230) на холостому ході РШМ.



Рисунок 5 – Якір РШМ з коригувальними надрізами

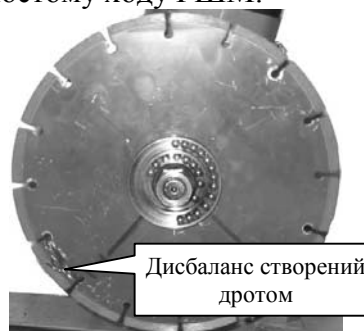


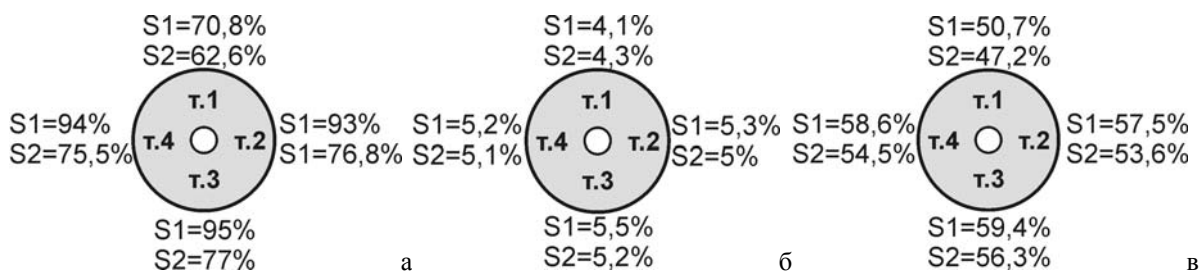
Рисунок 6 – Робота РШМ з диском, АБ та дисбалансом

Для цього на диску створюються дисбаланси $S_1=172 \text{ г}\cdot\text{мм}$, $S_2=517 \text{ г}\cdot\text{мм}$, шляхом встановлення точкових мас 1.5 г., 4.5 г. на відстані 115 мм від осі обертання (рис. 6).

На обод диска наносяться 4 точки з кроком 90° . Послідовно для кожної точки визначаються вібраційні характеристики РШМ у таких конфігураціях:

- 1 – робота РШМ з дисбалансом S_1 без АБ;
- 2 – робота РШМ з дисбалансом S_1 з АБ;
- 3 – робота РШМ з дисбалансом S_2 без АБ;
- 4 – робота РШМ з дисбалансом S_2 з АБ.

За результатами експерименту побудовані діаграми – рис. 7 (таблиця не наведена).



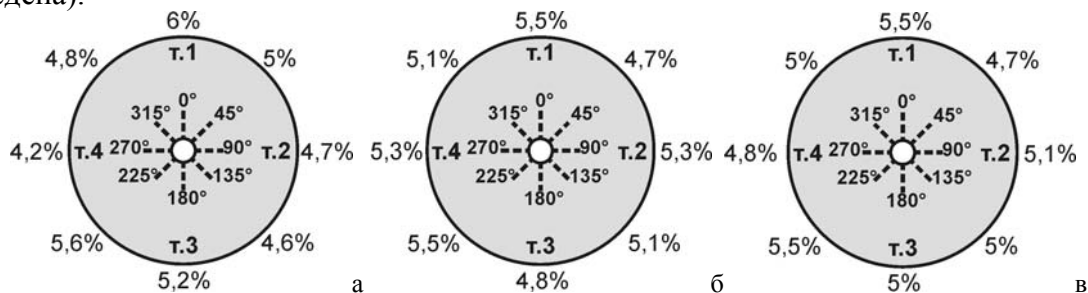
а – від дисбалансу диска, б – від незрівноваженості якоря, в – ефективність середньоквадратична

Рисунок 7 – Ефективність застосування АБ при різних дисбалансах (S_1, S_2)

Ефективність роботи АБ збільшується із зростанням незрівноваженості диска. Асиметрію ефективності роботи АБ можна пояснити початковим дисбалансом диска.

В експерименті 4 - досліджується ефективність роботи АБ при використанні відрізного диска по металу (LugaABRASIV 14A 40 T2 БУ) без додаткового дисбалансу на холостому ході у таких конфігураціях: 1 – без АБ; 2 – з АБ.

За результатами експерименту побудовані діаграми – рис. 8 (таблиця не наведена).



а – від дисбалансу диска, б – від незрівноваженості якоря, в – середньоквадратичних

Ефективність роботи АБ зменшується із зменшенням дисбалансу диска.

В експерименті 5 - досліджується ефективність роботи АБ при використанні зрівноваженого відрізного диска по металу (LugaABRASIV 14A 40 T2 БУ) з додатковим дисбалансом на холостому ходу. Дисбаланси $S_1=17$ г·мм, $S_2=22$ г·мм, $S_3=28$ г·мм створюються точковими масами 0,17 г., 0,22 г., 0,28 г., закріпленими на відстані 100 мм від осі обертання. Експерименти проводяться у таких конфігураціях:

- 1 – диск з дисбалансом S_1 , без АБ;
- 2 – диск з дисбалансом S_1 , з АБ;
- 3 – диск з дисбалансом S_2 , без АБ;
- 4 – диск з дисбалансом S_2 , з АБ;
- 5 – диск з дисбалансом S_3 , без АБ;
- 6 – диск з дисбалансом S_3 , з АБ.

За результатами п'ятого експерименту було заповнено табл. 3.

Таблиця 3 – Результати експеримента 3

К. №	Спектр і розмах коливань, мВ				Віброприскорення, m/c^2			
	U_1 (95 Гц)	U_1 еф-ть %	U_2 (380 Гц)	U_2 еф-ть %	амплі- туда A_1	амплі- туда A_2	середньо- квадратичні	еф-ть ср. кв. %
1.	550	89	270	5,5	18,42	9,04	14,51	57,2
2.	61		255		2,04	8,54	6,21	
3.	603	90	264	5,3	20,20	8,84	15,59	61
4.	59		250		1,97	8,37	6,08	
5.	658	89	263	5,3	22,04	8,81	16,78	63,6
6.	67		249		2,24	8,34	6,10	

Встановлено зменшення середньоквадратичних віброприскорень АБ на холостому ходу на 60,6%. АБ значно зменшує складову вібрацій від дисбалансу диска (89,3%) за рахунок приходу куль у положення, у якому вони зрівноважують дисбаланс, і дещо демпфірує складову коливань від незрівноваженості якоря (5,36%), через розсіювання енергії цих коливань при коливанні куль в околі положення, у якому вони зрівноважують диск.

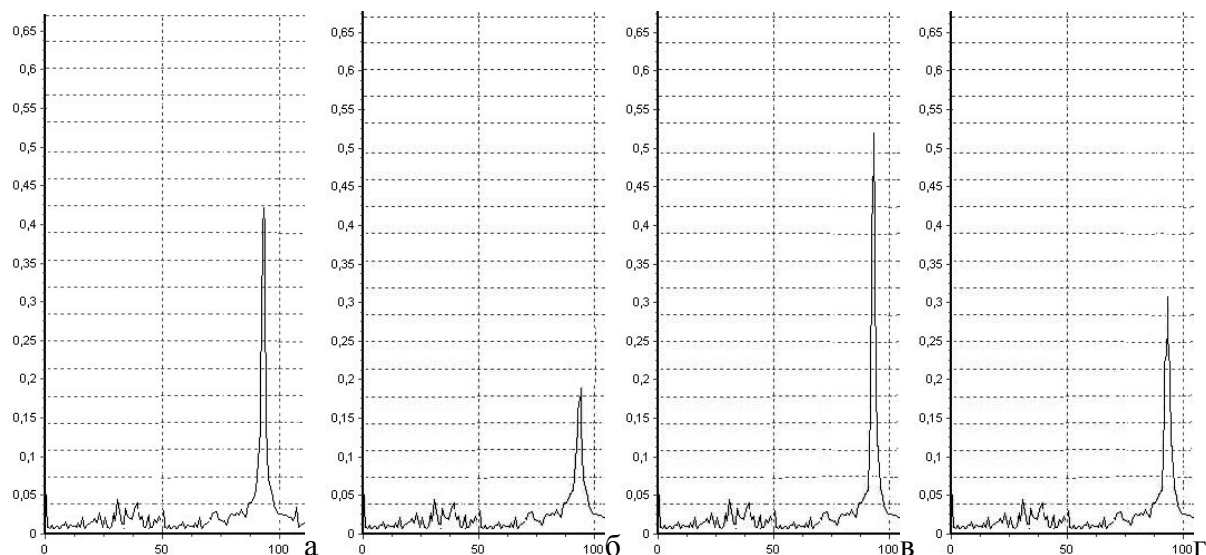
В експерименті 6 – досліджується ефективність роботи АБ при використанні зрівноваженого відрізного диска по металу (LugaABRASIV 14A 40 T2 БУ) з додатковим дисбалансом при різанні, результати наведені у табл. 4. Конфігурації описані у експерименті 5.

Таблиця 4 – Результати експеримента 6

К. №	Спектр і розмах коливань, мВ				Віброприскорення, m/c^2			
	U_1 (95 Гц)	U_1 еф-ть %	U_2 (380 Гц)	U_2 еф-ть %	амплі- туда A_1	амплі- туда A_2	середньо- квадратичні	еф-ть ср. кв. %
1.	500	40	264	5,3	16.75	8.84	13.39	30,9
2.	300		250		10.05	8.37	9.25	
3.	550	42	263	5,3	18.425	8.81	14.44	34,1
4.	315		249		10.553	8.34	9.51	
5.	600	46	264	5,3	20.1	8.84	15.52	38
6.	320		250		10.72	8.37	9.61	

Встановлено зменшення середньоквадратичних віброприскорень АБ при різанні на 34,3%. АБ значно зменшує складову вібрацій від дисбалансу диска (42,6%) за рахунок приходу куль у положення, у якому вони зрівноважують дисбаланс, і дещо демпфірує складову коливань від незрівноваженості якоря (5,3%), через розсіювання енергії цих коливань при коливанні куль в околі положення, у якому вони зрівноважують диск.

Типові співвідношення на спектральній діаграмі між пиками від дисбалансу диска при різних режимах роботи РШМ показані на рис. 9.



а – холостий хід РШМ без АБ, диск з дисбалансом, б – холостий хід РШМ з АБ, диск з дисбалансом, в – різання РШМ без АБ, диск з дисбалансом, г – різання РШМ з АБ, диск з дисбалансом

Рисунок 9 – Піки на спектральній діаграмі віброприскорень від дисбалансу диска

Загальні висновки:

1. У РШМ (зокрема Expert 230) є два істотних джерела вібрацій:
 - дисбаланс диска (частота 95 Гц - швидкості обертання диска);
 - дисбаланс якоря електродвигуна (частота 380 Гц - швидкість обертання якоря).
2. АБ зменшує віброприскорення РШМ двома способами:
 - як автобалансир - зменшує віброприскорення від дисбалансу диска за рахунок приходу куль у положення, у якому вони зрівноважують диск на 5÷95%, причому більша ефективність відповідає більшому дисбалансу диска;
 - як демпфер коливань – зменшує віброприскорення від дисбалансу якоря приблизно на 5% – за рахунок коливань куль із частотою обертання якоря з розсіюванням енергії.
3. Середньоквадратичні значення прискорень зменшуються на 5÷59%, причому більша ефективність відповідає більшому дисбалансу диска.

Список літератури

1. Філімоніхін Г.Б., Коваленко О.В. Розрахунок параметрів автобалансирів для зрівноваження дисків ручних шліфувальних машин // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин", КНТУ, 2007. Вип. № 37.
2. Автобалансуючий пристрій для зрівноваження роторів із похилою віссю обертання - Пат. на корисну модель № 26788 У Україна, МПК G01M 1/38 / Г.Б.Філімоніхін, В.В. Яцун, О.В. Коваленко (Україна); КНТУ - № 200704757; Заявл. 27.04.2007; Опубл. 10.10.2007, Бюл.№16.

3. Автобалансуючий пристрій для зрівноваження роторів із похилою віссю обертання - Пат. на корисну модель № 35261 U Україна, МПК G01M 1/00 / Г.Б.Філімоніхін, В.В. Яцун, О.В. Коваленко (Україна); КНТУ - № 200804424; Заявл. 07.04.2008; Опубл. 10.09.2008, Бюл.№17.
4. Філімоніхін Г.Б., Коваленко О.В. Експериментальне дослідження процесу зрівноваження автобалансирами дисків ручних шліфувальних машин // Всеукраїнський н.-т. журнал „Вібрації у техніці та технологіях”. –2007. №3 (48), С. 118-123.
5. Вибрации в технике. Справочник в 6 томах. Том 1. Колебание линейных систем. Москва, издательство «Машиностроение» 1978 .
6. ГОСТ Р 51376.1-99 Машины ручные. Измерение вибраций на рукоятках. Часть 1. Общие положения.
7. ГОСТ Р 51376.4-99: Машины ручные. Измерение вибраций на рукоятках. Часть 4. Машины шлифовальные. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. - 12 с.
8. ГОСТ ИСО 5348-2002 - Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров.
9. ГОСТ ИСО 8041-2006 - Вибрация. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений.
10. ГОСТ 21963-2002 - Круги отрезные. Технические условия.
11. ГОСТ 16181-82 - Круги алмазные шлифовальные. Технические условия.
12. BS EN 50144-1:1996 Safety of hand-held electric motor operated tools. Part 1: General requirements.
13. ГОСТ 22061-76. Машины и технологическое оборудование. Система классов точности и балансировки. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 134 с.

Для ручной шлифовальной машины (РШМ) Expert 230 экспериментально исследована эффективность применения шаровых автобалансиров (АБ) для уменьшения вибраций. Исследования проведены на автоматическом стенде для разных режимов работы РШМ. Эффективность работы АБ оценивалась по уменьшению среднеквадратического виброускорения и его составляющих, вызванных дисбалансами диска и якоря электродвигателя. Вибрации измерялись на корпусе РШМ.

Efficiency of ball autobalancer (AB) application for diminishing of vibrations for the hand polishing machine (HPM) Expert 230 is experimentally investigated. Researches are conducted on an automatic stand for the different modes of HPM operations. Work efficiency of AB was estimated on diminishing of root-mean-square vibroacceleration and his constituents, caused the disbalances of disk and anchor of electric motor. Vibrations were measured on the corps of HPM.