

рабочим телам включаться в работу только на зарезонансных частотах вращения ротора. Это значительно усложняет конструкцию АБУ и не дает возможности к их широкому применению.

Между тем, на практике, АБУ могут снижать вибрации как на зарезонансных частотах, так и на дорезонансных, и на самом резонансе. Для того, чтобы разобраться в несоответствии теории и практики автоматической балансировки проведены исследования поведения рабочих тел в АБУ с помощью скоростной видеосъемки.

На основании экспериментальных и теоретических исследований разработана конструкция комбинированного жидкостно-шарового автобалансирующего устройства, применение которого позволяет снизить вибрации ротора не менее, чем в 2,5 раза во всем диапазоне частот вращения.

Схожесть конструктивных схем экспериментальной установки и центрифуги ФПН-1251Л, используемой в сахарной промышленности, позволяет предположить, что использование метода автоматической балансировки для снижения вибраций будет достаточно эффективным на данных типах центрифуг, без применения существенных переделок в конструкции.

## Литература

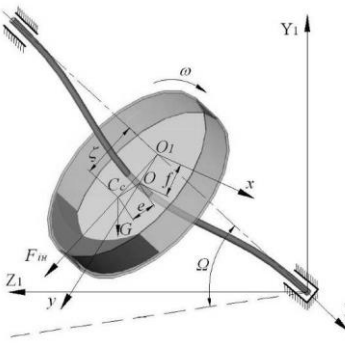
1. Справочник по технологическому оборудованию сахарных заводов / В. Г. Белик, С. А. Зозуля и др. ; под ред. В. Г. Белика. – Київ : Техніка, 1982. – 304 с.
2. Лукьяненко В. М. Промышленные центрифуги / В. М. Лукьяненко, А. В. Таранец. – Москва : Химик, 1974. – 376 с.
3. Дахин О. Х. Центрифуги : учеб. пособие / О. Х. Дахин, Н. О. Сиволобова / Волгоград. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2006. – 61 с.

## ВПЛИВ КУТА НАХИЛУ ОСІ ОБЕРТАННЯ РОТОРА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОБАЛАНСУВАННЯ РІДИНОЮ

*Ткачук В. П., Драч І. В., Ройзман В. П.  
Хмельницький національний університет, e-mail: roizman\_v@mail.ru*

У зв'язку з тим, що ефективність автобалансування роторів з вертикальною віссю обертання вища, ніж з горизонтальною [1], то для теоретичного дослідження впливу кута нахилу осі обертання до горизонту на ефективність автобалансування було розглянуто рух невагомого вала, розташованого під кутом  $\Omega$  ( $0 < \Omega < \pi/2$ ) до горизонту, із

встановленим на ньому АБП, частково наповненого рідиною масою  $m$  (рис. 1).



**Рис. 1. Положення рідини в полі відцентрових сил і гравітації під кутом до горизонту**

Знайдемо його розв'язок як суму розв'язків відповідного одно-

рідного диференціального рівняння  $\frac{G}{g} \cdot \ddot{y} + c \cdot y = 0$  ( $y_0$ ) і частинного розв'язку  $y_1$ .

$$y_0 = C_1 \cdot \cos \sqrt{\frac{c \cdot g}{G}} t + C_2 \sin \sqrt{\frac{c \cdot g}{G}} t .$$

Частинний розв'язок знаходимо за виглядом правої частини рівняння (3.17), у вигляді:  $y_1 = A \cdot \cos \omega t$ , де  $A$  – невідома константа (амплітуда коливань). Знайдемо невідому константу  $A$ .  $\dot{y}_1 = -A \cdot \omega \cdot \sin \omega t$ ,  $\ddot{y}_1 = -A \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t$ ,

$$-G/g A \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t + c \cdot A \cdot \cos \omega t = (F_{\text{и}} + G \cdot \cos \Omega) \cos \omega t$$

$$\dot{A}(-m \cdot \omega^2 + c) = F_{\text{и}} + G \cdot \cos \Omega, \text{ звідки } A = \frac{F_{\text{и}} + G \cdot \cos \Omega}{c - m \cdot \omega^2} .$$

$$\text{Отже } y_1 = \frac{(F_{\text{и}} + G \cdot \cos \Omega) \cdot \cos \omega t}{c - m \cdot \omega^2} .$$

Додавши загальний і частинний розв'язки, одержимо загальний розв'язок рівняння у вигляді:

$$y = C_1 \cdot \cos \sqrt{\frac{c \cdot g}{G}} t + C_2 \sin \sqrt{\frac{c \cdot g}{G}} t + \frac{F_{\text{и}}}{c - m \cdot \omega^2} \cos \omega t + \frac{G \cdot \cos \Omega}{c - m \cdot \omega^2} \cos \omega t . \quad (2)$$

Диференціальне рівняння руху центра мас роторної системи  $C_c$  вздовж осі  $y$ , що лежить в площині АБП, має вигляд:

$$\frac{G}{g} \cdot \ddot{y} + c \cdot y = (F_{\text{и}} + G \cdot \cos \Omega) \cos \omega t , \quad (1)$$

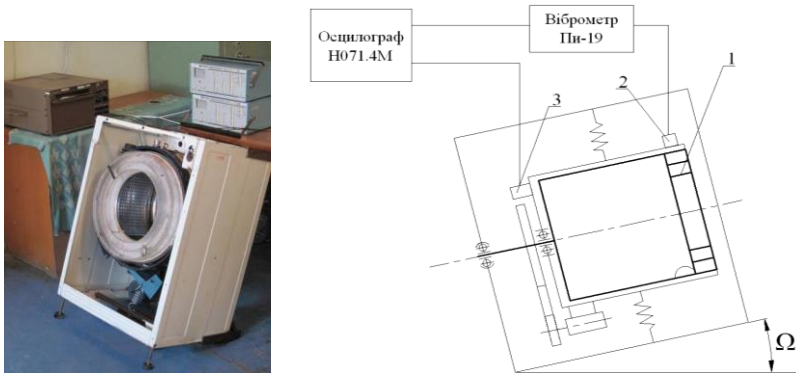
де  $G$  – вага рідини;  $c$  – жорсткість вала;  $F_{\text{и}}$  – сила інерції рідини.

При  $\Omega = 0$  маємо випадок горизонтального розташування вала роторної системи, при  $\Omega = \pi/2$  – вертикального розташування вала. Вираз (1) є неоднорідним диференціальним рівнянням 2-го порядку зі сталими коефіцієнтами.

Із отриманого розв'язку видно, що зі збільшенням кута  $\Omega$ , переміщення центра мас ротора в напрямку осі  $y$  буде зменшуватись за абсолютною величиною, оскільки тоді буде зменшуватись доданок  $\frac{G \cdot \cos \Omega}{c - m \cdot \omega^2} \cos \omega t$ , а при  $\Omega = \pi / 2$ ,  $\frac{G \cdot \cos \Omega}{c - m \cdot \omega^2} \cos \omega t = 0$ .

Результати досліджень показали, що при перебуванні рідини під час обертання горизонтального ротора у нижній точці сила ваги збігається за напрямом із силою інерції, що збільшує переміщення (вібрації) системи "ротор-АБП" порівняно з вертикальним ротором.

Експериментальні дослідження впливу кута нахилу осі обертання  $\Omega$  до горизонтальної площини на ефективність роботи рідинного автобалансира було проведено на створеній експериментальній установці із горизонтальною віссю обертання (рис. 2) [2].



**Рис. 2. Схематичне зображення експериментальної установки:**  
**1 – автобалансир; 2 – вібродатчик; 3 – відмітник обертів**

Дослідження виконували для наступних положень осі обертання відносно горизонту  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  і  $90^\circ$ .

Під час досліджень пасивний рідинний автобалансир жорстко закріплювався на роторі.

Дослідження проводились в наступній послідовності:

- відбалансовували ротор і записували графік вібропереміщення бака при обертанні ротора з сталими швидкостями:  $\omega = 28 \text{ c}^{-1}$ ,  $32 \text{ c}^{-1}$ ,  $37 \text{ c}^{-1}$ ,  $46 \text{ c}^{-1}$ ,  $55 \text{ c}^{-1}$ ,  $70 \text{ c}^{-1}$ ,  $93 \text{ c}^{-1}$ ;
- розбалансовували ротор шляхом закріплення на ньому вантажу масою 50 г ( $D = 1000 \text{ г}\cdot\text{см}$ ) і записували графік вібропереміщення на вказаних швидкостях обертання;

– не змінюючи дисбалансу ротора, зовнішню камеру АБП частково наповнили рідиною об'ємом 50 мл і записували графік вібропереміщення на вказаних швидкостях обертання;

– не змінюючи дисбалансу ротора і об'єму рідини в камері АБП записали графік вібропереміщення на вказаних швидкостях обертання, при різних кутах нахилу осі обертання до горизонту ( $\Omega = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ ).

Результати експериментальних досліджень впливу кута нахилу осі обертання ротора на ефективність автобалансування наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Залежність вібропереміщення (мм) переднього краю бака установки від кута нахилу осі обертання**

Кут нахилу осі ротора	Кутова швидкість руху ротора $\omega, \text{с}^{-1}$						
	28	32	37	46	55	70	93
Відбалансований ротор $\Omega = 0^\circ$	6	9	13	8	4	3,5	3
Розбалансований ротор ( $D = 1000 \text{ г}\cdot\text{см}$ ) $\Omega = 0^\circ$	13	25	33	26	18	16	16
Розбалансований ротор ( $D = 1000 \text{ г}\cdot\text{см}$ ); об'єм води в АБП 50 мл							
$\Omega = 0^\circ$	10	19	24	18	10	9	8
$\Omega = 30^\circ$	10	19	23	17	9	8	7,5
$\Omega = 45^\circ$	9	17	22	16	9	8	7
$\Omega = 60^\circ$	8	16	21	14	8,5	7	6
$\Omega = 90^\circ$	7	14	18	13	7	6	5

Результати експериментальних досліджень показали, що зі зменшенням кута нахилу осі обертання ефективність автобалансування зменшується.

## Література

1. Експериментальні дослідження процесу автоматичного балансування роторів з горизонтальною віссю обертання / В. П. Ткачук, В. П. Ройзман, І. В. Драч, В. Барздайтис // Зб. наук. пр. за матеріалами міжнар. наук.-техн. конф. “Підвищення якості, надійності і довговічності технічних систем і технологічних процесів” (Шарм эль Шейх (Єгипет), 3–10 груд. 2006 р.) / М-во освіти і науки України, Хмельницький нац. ун-т [та ін.]. – Хмельницький : ХНУ, 2006. – С. 161–167.

2. Ройзман В. П. Експериментальні дослідження роботи рідинних автобалансирів, встановлених на роторах з горизонтальною віссю обертання / В. П. Ройзман, В. П. Ткачук, О. О. Нікітін // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 5. – С. 23–30.