

Горбенко А.Н.

Керченский морской технологический институт

О РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ШАРИКОВОГО АВТОБАЛАНСИРА, УСТАНОВЛЕННОГО НА ВРАЩАЮЩЕМСЯ РОТОРЕ

В работе установлено, что в механической системе «ротор – шариковый автобалансир» возможно существование режима двойных колебаний шариков. Данный режим движения принципиально отличается от известных режимов автобалансировки и вращения шариков в автобалансире.

1. Постановка проблемы. Задача исследования.

Применение шариковых автобалансирующих устройств (АБУ) позволяет снизить уровень вибрации и повысить надежность роторных машин. В работах, посвященных изучению АБУ (см. [1-8] и др.), рассматриваются два основных режима их движения – режим автобалансировки и режим вращения шариков в полости АБУ. В то же время механическая система «ротор - автобалансир» отличается нелинейностью и многообразием динамических свойств. В связи с этим можно предполагать, что в подобной системе возможно существование и других режимов установившегося движения. Очевидно, что неполнота сведений о динамическом поведении АБУ, наряду с другими факторами, сдерживает их практическое применение.

Целью настоящей работы является выявление дополнительных режимов движения АБУ.

2. Режимы движения АБУ

На рис. 1 показана схема шарикового автобалансира, установленного на вращающийся ротор. Обобщенные координаты рассматриваемой механической системы: x, y – координаты геометрического центра диска ротора; $\varphi_j, j=1,2,\dots,n$ – угловые координаты каждого из шариков в АБУ.

Безразмерные уравнения движения данной механической системы имеют вид (см. [2] и др.):

$$\begin{aligned} X'' + BX' + X &= \mu_c \Omega^2 \cos \Omega \tau + \mu \rho \sum_{j=1}^n \left[(\varphi'_j)^2 \cos \varphi_j + \varphi''_j \sin \varphi_j \right]; \\ Y'' + BY' + Y &= \mu_c \Omega^2 \sin \Omega \tau + \mu \rho \sum_{j=1}^n \left[(\varphi'_j)^2 \sin \varphi_j - \varphi''_j \cos \varphi_j \right]; \\ \rho \varphi''_j + \rho B_0 (\varphi'_j - \Omega) &= X'' \sin \varphi_j - Y'' \cos \varphi_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (1)$$

где $X = \frac{x}{r}$; $Y = \frac{y}{r}$; $\tau = pt$; $\Omega = \frac{\omega}{p}$; $\mu = \frac{m}{M + nm}$; $\mu_c = \frac{M}{M + nm} = 1 - n\mu$;

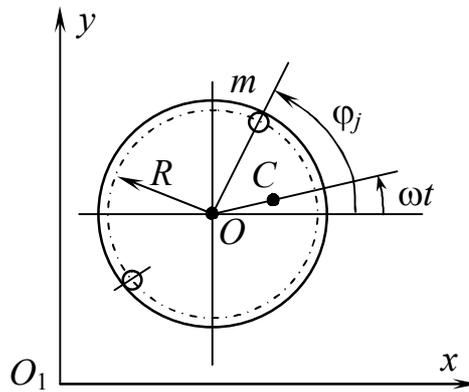


Рисунок 1 – Схема шарикового автобалансира

$$B = \frac{\beta}{p}; \quad B_0 = \frac{\beta_0}{p}; \quad \rho = \frac{R}{r}; \quad p = \sqrt{\frac{K}{M + nm}}; \quad \tau - \text{ безразмерное время; } p -$$

критическая скорость вращения, рад/с; ω – скорость вращения ротора, рад/с; M, r – масса и эксцентриситет диска; K – жесткость вала ротора; m, n – масса одного шарика и их количество; R – радиус беговой дорожки шариков; β – коэффициент внешнего вязкого трения ротора, 1/с; β_0 – коэффициент вязкого трения шариков в полости автобалансира, 1/с.

Здесь верхний индекс ' (штрих) означает дифференцирование по безразмерному времени τ .

Дальнейшие численные расчеты системы (1) выполнялись при следующих значениях безразмерных параметров: $n=2$; $\mu=0,007$; $\rho=76,23$; $B=0,1$; $B_0=0,001$; $\Omega=3$. При этом емкость АБУ $E=1,082$, а автобалансирующие положения шариков $\alpha_{1,2} = \pm 157,5$ град. Все представленные ниже графики соответствуют установившемуся режимам движения после окончания переходных процессов. Всего просчитывалось 2000 оборотов ротора.

В режиме автобалансировки шарика вращаются вместе с диском и одновременно совершают малые колебания относительно положений $\alpha_{1,2}$. На рис.2 представлены графики, полученные путем численного расчета системы (1) при начальных данных: $X = Y = X' = Y' = 0$, $\varphi_{1,2} = 180 \pm 5$ град, $\varphi'_{1,2} = \Omega$. Здесь показаны зависимости: прогиб ротора $A = \sqrt{X^2 + Y^2}$ от τ , относительные угловые положения шариков $\psi_{1,2} = (\varphi_{1,2} - \Omega\tau)$ от τ и фазовые портреты движения шариков. Основной практически важной особенностью этого движения является малая величина прогиба ротора.

Режим вращения шариков устанавливается, если задать их начальную скорость существенно меньшую, чем скорость вращения ротора, например, $\varphi'_{1,2} = 1$. Как видно из графиков на рис.3 в этом режиме прогиб ротора существенно больше, чем в предыдущем случае. Шарика вращаются в полости АБУ с приблизительно постоянной скоростью, отставая от вращения ротора. Фазовый портрет движения шариков незамкнут, что является следствием неперiodичности их движения.

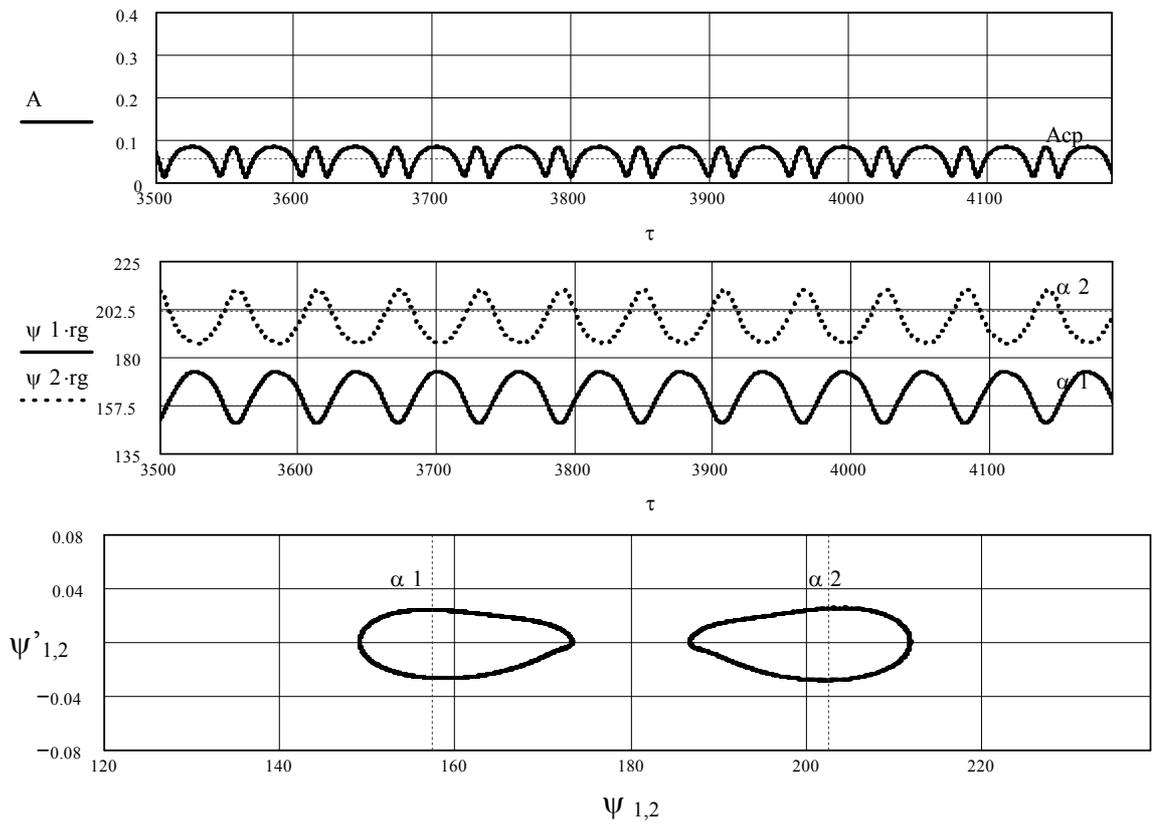


Рисунок 2 – Графики, характеризующие режим автобалансировки

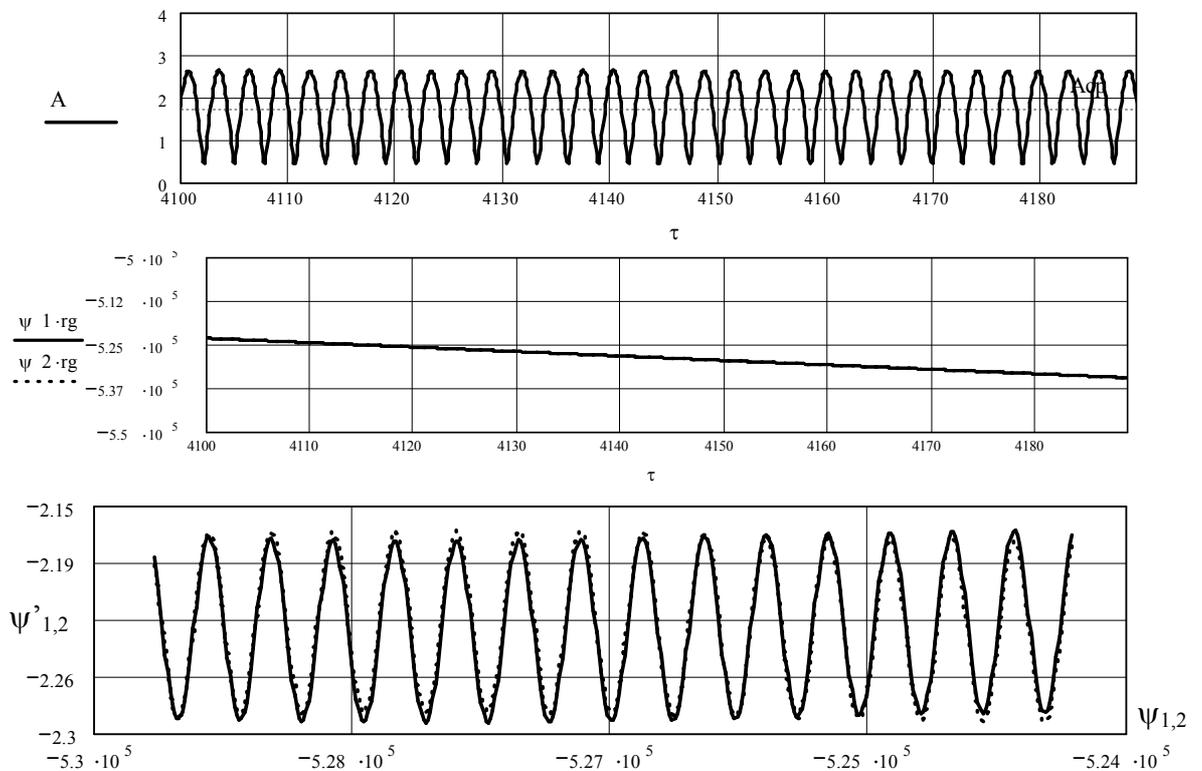


Рисунок 3 – Графики, характеризующие режим вращения шариков

Тщательное изучение влияния начальных условий показало, что в механической системе может устанавливаться еще один режим движения, принципиально отличающийся от предыдущих. В этом режиме каждый из шариков поочередно совершает колебания относительно одного автобалансирующего положения, затем относительно другого и так далее. В целом получается, что шарики колеблются относительно сразу двух положений. Учитывая этот характер движения, данный режим можно назвать *режимом двойных колебаний шариков*.

На рис.4 показаны динамические характеристики режима двойных колебаний. Графики рассчитаны при начальной скорости шариков $\varphi'_{1,2} = \Omega - 0,1$. Как видим прогиб ротора несколько больше прогиба при автобалансировке. Фазовые портреты первого и второго шариков совпадают, однако двигаются они в противофазе. Среднее положение шариков близко к 180° . Приведенные графики соответствуют периодическому движению шариков. Однако многочисленные расчеты при различных начальных условиях показали, что чаще устанавливается квазипериодическое движение, при котором фазовые портреты «размыты». Отметим также, что по-видимому режим двойных колебаний наиболее вероятен при емкости АБУ несколько большей единицы.

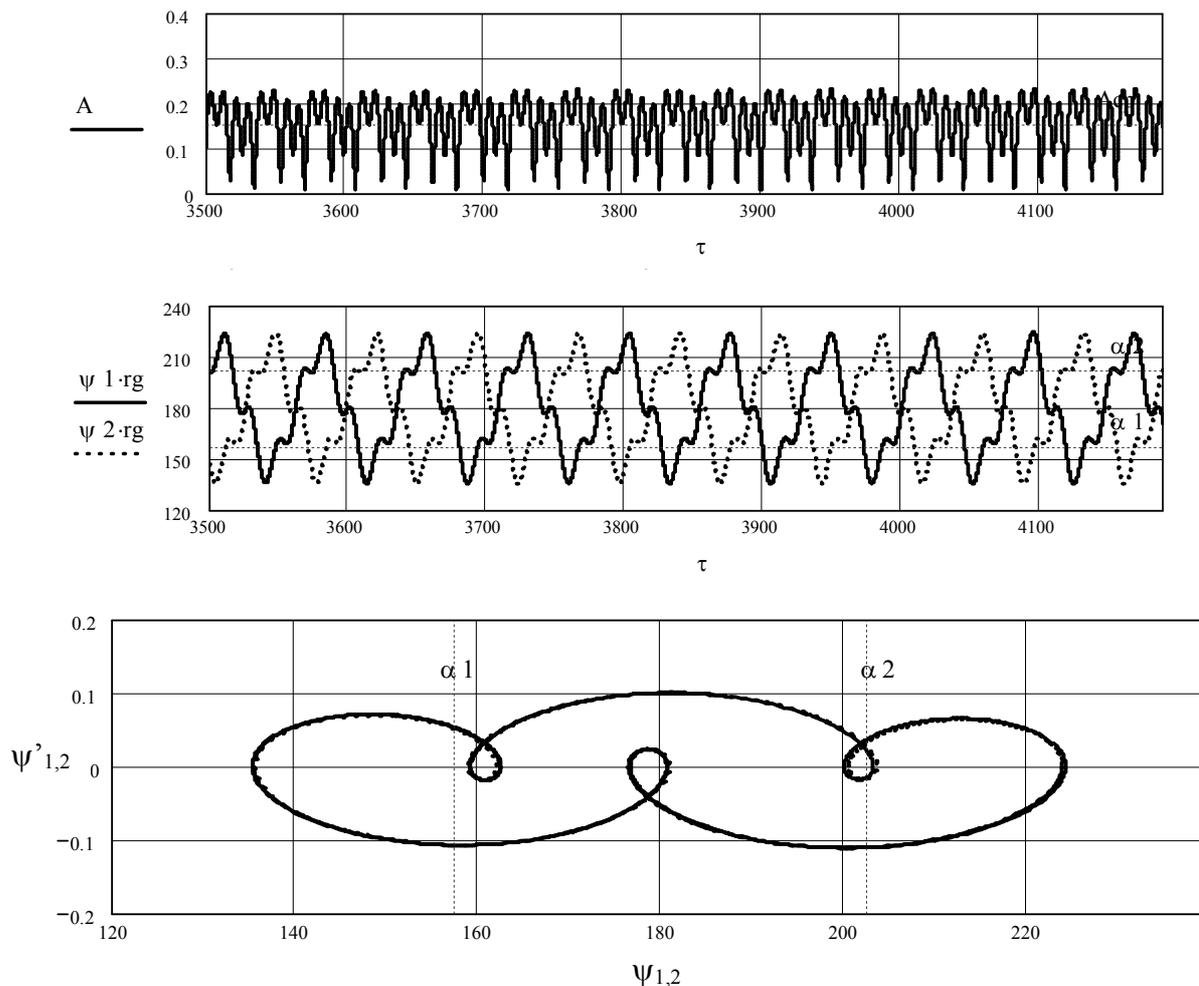


Рисунок 4 – Графики, характеризующие режим двойных колебаний шариков

3. Выводы

Полученные результаты расширяют область знаний об особенностях динамического поведения механической системы «ротор - шариковый автобалансир». С точки зрения виброактивности роторной машины режим двойных колебаний занимает промежуточное положение между режимами автобалансировки и вращения шариков. В целом данный режим можно считать благоприятным для ресурса машины.

Литература

1. Артюнин А.И. Исследование движения ротора с автобалансиром. // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 1993. - №1. - с. 15 – 19.
2. Горбенко А.Н. Некоторые нетривиальные свойства механической системы «ротор – шариковый автобалансир» // Вибрации в технике и технологиях. – 2002. – № 3 (24). – с. 33-36.
3. Горбенко А.Н. Об устойчивости автобалансировки ротора с помощью шариков // Проблемы прочности – 2003. – № 3 (363). – с. 120-129.
4. Горбенко А.Н., Радченко О.П. Определение границ устойчивости процесса автобалансировки ротора шарами путем численного решения уравнений движения // Механика и машиностроение. - 2000. - №1. – С. 123-127.
5. Детинко Ф.М. Об устойчивости работы автобалансира для динамической автобалансировки // Изв. АН СССР. ОТН. Механика и машиностроение. – 1959. – №4. – С. 38-45.
6. Закржевский М.В., Туронок Ф.И. К анализу устойчивости работы автоматического автобалансира // Известия вузов. Машиностроение. - 1983. - №2. - С. 19-23.
7. Нестеренко В.П. Автоматическая балансировка роторов приборов и машин со многими степенями свободы. - Томск: Изд-во Томского ун-та, 1985. - 84 с.
8. Филимонихин Г.Б. Зрівноваження і виброзахист роторів автобалансирами з твердими коригувальними вантажами. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 352с.

Анотація

У роботі встановлено, що в механічній системі «ротор - кульковий автобалансир» можливе існування режиму подвійних коливань кульок. Даний режим руху принципово відрізняється від відомих режимів автобалансування і обертання кульок в автобалансири.

Summary

It is set in work, that in the mechanical system the «rotor - ball autobalancer» the mode of double vibrations of balls is possible. This mode of motion has the principle different from the known modes of autobalancing and rotation of balls in an autobalancer.

Библиографическое описание статьи:

Горбенко А.Н. О режимах движения шарикового автобалансира, установленного на вращающемся роторе // Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий. Сб. науч. тр. КМТИ. – Керчь: КМТИ. – 2006. – Вып.7. – с. 125-129.