

ВЛИЯНИЕ ЭЛЛИПСНОСТИ И ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РЕЗЕРВУАРА НА ТОЧНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ

Пашков Е. Н., Мартюшев Н. В., Кузнецов И. В.

ГФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия (634050, Томск, пр. Ленина, 30), e-mail: epashkov1@sibmail.ru

В статье рассматриваются особенности работы жидкостного автобалансирующего устройства. Зачастую решение проблемы повышения эффективности автоматической балансировки за счет использования многорезервуарного устройства приводит к увеличению эллипсности и эксцентриситета внутренней поверхности резервуара. В данной работе исследовалось влияние этих факторов на точность балансировки. Результаты работы показали, что точность балансировки не зависит от эксцентриситета обоймы во всех случаях ориентации вектора дисбаланса. Как в случае, когда вектор дисбаланса совпадает с линией, проходящей через ось ротора и центр внутренней поверхности обоймы, так и в случае, когда вектор дисбаланса перпендикулярен указанной линии, и в случае, когда вектор дисбаланса имеет направление, промежуточное между двумя первыми случаями.

Ключевые слова: автоматическое балансировочное устройство, вращение ротора, самоцентрирующаяся система, эксцентриситет, эллипсность, дисбаланс.

INFLUENCE TANK ELLIPTICITY AND ECCENTRICITY ON ACCURACY OF AUTOMATIC BALANCING

Pashkov E. N., Martyushev N. V., Kuznetsov I. V.

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30), e-mail: epashkov1@sibmail.ru

In article operation features of the liquid autobalancing device are considered. Often the efficiency increase problem solution for automatic balancing at the expense of multitank device use, leads to increase in an ellipsity and eccentricity an internal surface of the tank. In this work influence of these factors on balancing accuracy was investigated. Work results showed that balancing accuracy doesn't depend from eccentricity holders in all cases of imbalance orientation vector. As in a case when the imbalance vector coincides with the line passing through rotor axis, and the internal surface center of a holder, and in a case when the imbalance vector is perpendicular the specified line and in a case when the imbalance vector has the direction, intermediate between the two first cases.

Key words: the automatic balancing device, the rotor rotation, being self-aligned system, eccentricity, ellipticity, imbalance.

Введение

В исследованиях, посвященных разработке шаровых и жидкостных автобалансирующих устройств [1, 4, 5], показано, что наличие эксцентриситета беговой дорожки шарового автобалансира и эксцентриситета обоймы приводит к появлению остаточного дисбаланса ротора. Влияние эллипсности резервуара на точность балансировки не рассматривалось. После решения проблемы, повышения эффективности автоматической балансировки за счет использования многорезервуарного устройства, необходимо: исследовать влияние эллипсности и эксцентриситета внутренней поверхности резервуара на точность балансировки и показать пути устранения этого влияния.

Материал и методы исследования

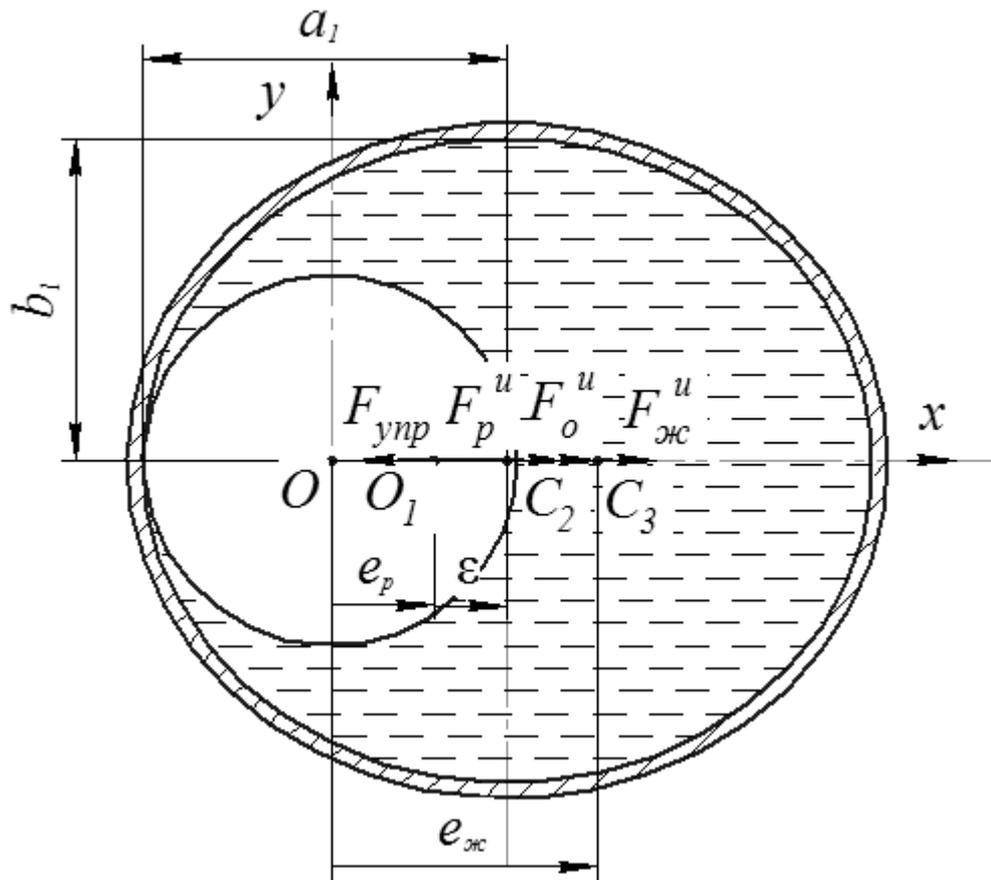


Рис. 1. Схема, поясняющая влияние эллипсности на точность балансировки

Для наглядности взята модель ротора с гибким валом [3]. Вначале определим влияние эллипсности внутренней поверхности обоймы на точность балансировки. На этом этапе полагаем, что ротор не имеет дисбаланса (рис. 1), т.е. центр масс ротора C_p без жидкости расположен на оси ротора (точка C_1). Центр C_2 внутренней поверхности обоймы смещен относительно оси ротора на величину эллипсности ε . Центр масс жидкости (точка C_3) смещен относительно оси вращения на величину $e_{ж}$, и жидкость вносит дополнительный дисбаланс (рис. 1). При условии совпадения центральных осей эллипса и ротора, неуравновешенность отсутствует, поэтому данный случай не рассматривается [2].

Результаты исследования и их обсуждение

Для расчетов воспользуемся методом кинестатики и составим уравнение установившегося движения рассматриваемой механической системы [7, 8]:

$$\bar{F}_{ж}^u + \bar{F}_p^u + \bar{F}_o^u + \bar{F}_{упр} = 0. \quad (1)$$

При условии жесткой связи с валом сила инерции оболочки будет входить в уравнение центробежной силы инерции ротора.

Используя уравнение (1), находим прогиб вала

$$e_p = \frac{\varepsilon r \pi h a_1 b_1 \omega^2}{c - (m_p + \rho \pi h a_1 b_1) \omega^2}.$$

Отсюда видно, что прогиб вала s прямо пропорционален эллипсности ε . Если частота вращения ротора значительно больше критической частоты, и выполняется неравенство $m_p \ll \rho \pi h a_1 b_1$, то прогиб вала s становится равным величине ε , а произведение ab – не влияет на балансировочный процесс.

Покажем способ устранения влияния эллипсности обоймы на точность балансировки. Присоединяем к ротору дополнительное тело на расстоянии s_D от оси ротора, что позволяет компенсировать действие жидкости на ротор, возникающее из-за эллипсности обоймы. Прогиб вала при этом отсутствует, и выполняется условие:

$$\bar{F}_{ж}^u + \bar{F}_D^u = 0, \quad (2)$$

где $F_D^u = m_D e_D \omega^2$ – центробежная сила инерции дополнительного тела;

m_D, e_D – масса дополнительного тела и расстояние от него до оси ротора. Тогда из уравнения (2) определяется масса дополнительного тела:

$$m_D = \frac{\varepsilon r \pi h a_1 b_1}{s_D}. \quad (3)$$

Считаем, что путем соединения с ротором дополнительной массы m_D осуществляется дополнительная балансировка ротора совместно с жидкостью в резервуаре.

Полагаем, что в дальнейшем процессе эксплуатации машины появляется дисбаланс ротора, и покажем, что после проведения дополнительной балансировки имеющийся эксцентриситет обоймы не будет влиять на точность устранения возникающего дисбаланса. Обозначим удельный дисбаланс ротора e_0 . Возможны три случая ориентации этого вектора. В первом случае вектор дисбаланса совпадает с линией, проходящей через ось ротора, и центр внутренней поверхности обоймы рис. 2. Во втором случае вектор дисбаланса перпендикулярен указанной линии рис. 3. Третий случай: вектор дисбаланса имеет направление, промежуточное между двумя первыми случаями.

Рассмотрим первый случай. Для него с помощью метода кинестатики составляем уравнение:

$$\bar{F}_D^u + \bar{F}_p^u + \bar{F}_{ж}^u + \bar{F}_{уп}^u = 0, \quad (4)$$

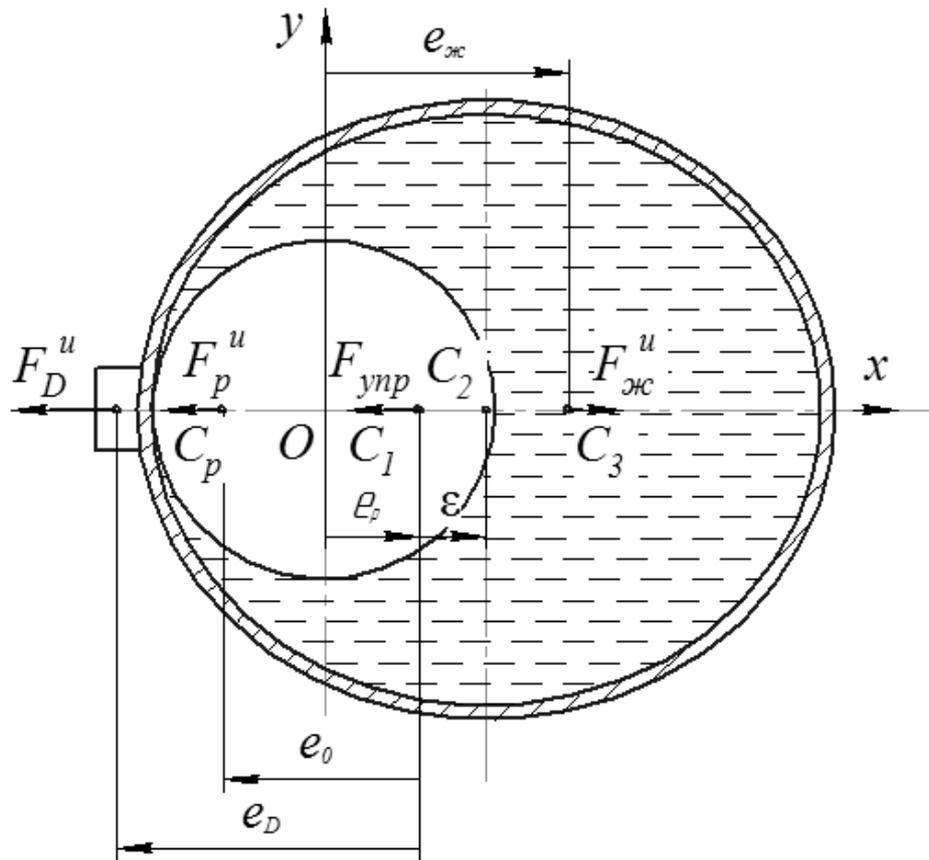


Рис. 2. Графическое пояснение к расположению сил для первого случая

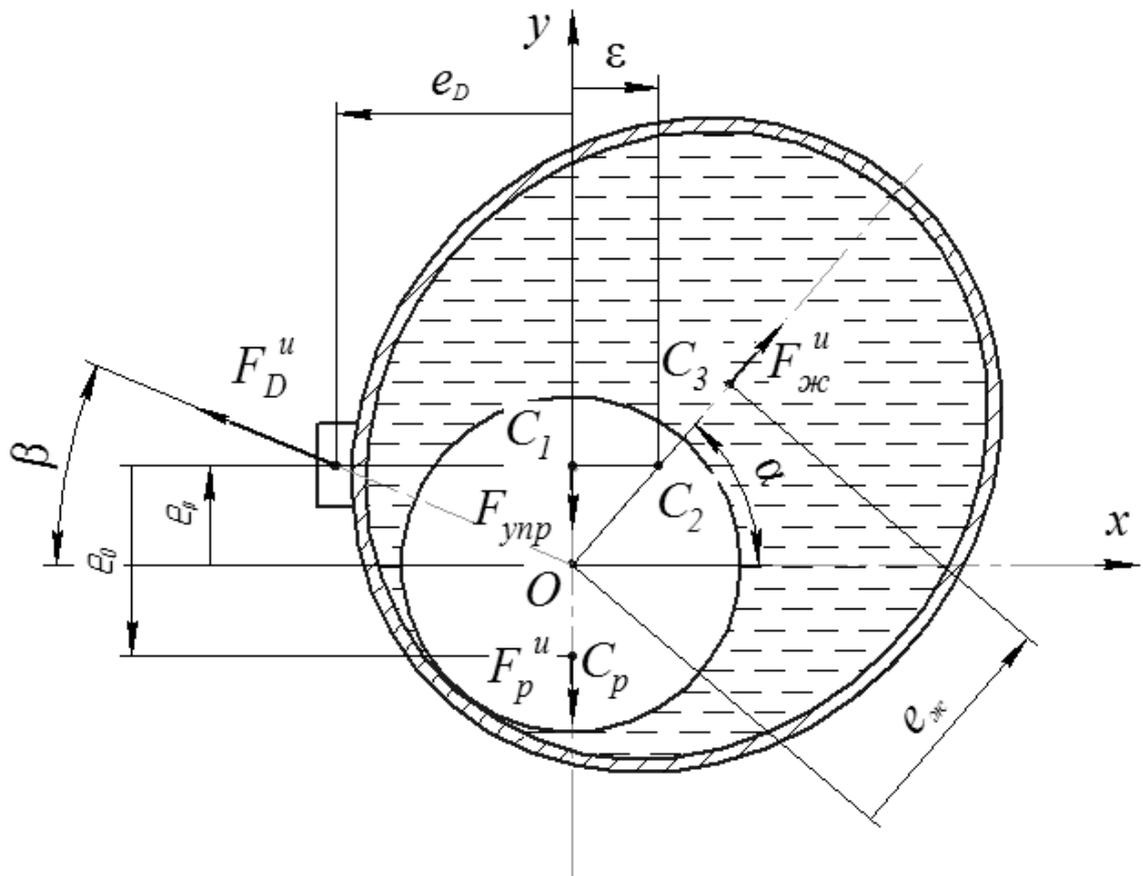


Рис. 3. Графическое пояснение к расположению сил для первого случая

где $F_D^u = m_D(e_D - e_p)\omega^2$ – сила инерции дополнительного тела;

$F_p^u = m_p(e_0 - e_p)\omega^2$ – сила инерции ротора;

$e_{жс} = (e_p + \varepsilon) \frac{a_1 b_1}{a_1 b_1 - r^2}$ – расстояние от оси вращения до центра масс жидкости.

Из уравнения (3) с учетом (4) находим прогиб вала

$$e_p = \frac{e_0 m_p \omega^2}{(m_p + \rho \pi h a_1 b_1) \omega^2 - c}. \quad (5)$$

Отсюда видно, что величина эксцентриситета ε оболочки не входит в выражение (5), определяющее прогиб вала из-за наличия дисбаланса ротора, появляющегося в процессе эксплуатации машины. Следовательно, при рассматриваемом расположении вектора дисбаланса ротора эксцентриситет обоймы не влияет на точность балансировки, если предварительно проведена дополнительная балансировка с соблюдением условия (3).

Для второго случая по методу кинетостатики составляем уравнения установившегося движения в проекциях на оси x, y [6]:

$$\begin{cases} F_D^u \cos \beta - F_{жс}^u \cos \alpha = 0; \\ F_D^u \sin \beta + F_{жс}^u \sin \alpha - F_p^u - F_{уп} = 0; \end{cases} \quad (6)$$

$$F_D^u = \frac{m_D e_D \omega^2}{\cos \beta}; \quad e_{жс} = \sqrt{\varepsilon^2 + e_p^2} \frac{a_1 b_1}{a_1 b_1 - r^2};$$

$$\sin \alpha = \frac{e_p}{\sqrt{\varepsilon^2 + e_p^2}}; \quad \cos \alpha = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\varepsilon^2 + e_p^2}}; \quad (7)$$

$$\sin \beta = \frac{e_p}{\sqrt{e_D^2 + e_p^2}}; \quad \cos \beta = \frac{e_D}{\sqrt{e_D^2 + e_p^2}}.$$

Подставляем (6) в (7), откуда после преобразования находим выражение прогиба вала для второго случая, которое полностью совпадает с выражением (5) – для первого случая. Это позволяет сделать вывод, что для второго случая ориентации вектора дисбаланса, точность балансировки не зависят от эксцентриситета обоймы.

Третий случай ориентации вектора дисбаланса является линейной комбинацией первых двух случаев, поэтому и на него распространяется вывод о независимости точности балансировки от эксцентриситета обоймы в том случае, если проведена дополнительная балансировка согласно условию (3).

Выводы

Результаты проведенных расчетов говорят о том, что точность балансировки не зависит от эксцентриситета обоймы во всех случаях ориентации вектора дисбаланса. Как в случае, когда вектор дисбаланса совпадает с линией, проходящей через ось ротора и центр внутренней поверхности обоймы, так и в случае, когда вектор дисбаланса перпендикулярен указанной линии, и в случае, когда вектор дисбаланса имеет направление, промежуточное между двумя первыми случаями.

Список литературы

1. Автобалансирующие устройства прямого действия / А. А. Гусаров. – М.: Наука, 2002. – 119 с.
2. Андрейченко К. П. Динамика поплавковых гироскопов и акселерометров. – М.: Машиностроение, 1987. – 128 с
3. Дерендяев Н. В., Сандалов В. М. Об устойчивости стационарного вращения цилиндра, частично заполненного вязкой несжимаемой жидкостью // ПММ. – 1982. – Т. 46, вып. 4. – С.578–586.
4. Зиякаев Г. Р., Саруев Л. А., Мартюшев Н. В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий. – 2010. – № 6.3 (13). – С. 61-65.
5. Нестеренко В. П., Соколов А. П. Способ повышения эффективности жидкостного автоматического балансировочного устройства // Известия вузов СССР. Машиностроение. – 1985. – № 4. – С. 35–38.
6. Пашков Е. Н., Дубовик В. А. Устойчивость стационарного вращения неуравновешенного ротора с жидкостным устройством на гибком валу // Известия ТПУ. – 2007. – № 2. – Т. 311. – С. 12-13.
7. Мартюшев Н. В. Расчет параметров структуры материалов с помощью программных средств // В мире научных открытий. – 2011. – № 1, Серия "Математика. Механика. Информатика". – С. 77-82.
8. Пашков Е. Н., Саруев Л. А., Зиякаев Г. Р. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 5. – С. 26-31.

Рецензенты:

Тарасов Сергей Юльевич, д.ф.-м.н., с.н.с. ИФПМ СО РАН, г. Томск.

Пушкарев Александр Иванович, д.ф.-м.н., сотрудник ООО «Инженерно-физический центр», г. Томск.