

условие достаточности жидкости в многорезервуарном устройстве имеет вид:

$$R_i - r_i \geq s; r_i - (R_{i+1} + \delta) \geq s, \quad (2)$$

где δ – толщина стенки цилиндрической перегородки.

Учитывая условие достаточности жидкости (2), определяем из уравнения амплитуды колебаний ротора при балансировке его с помощью многорезервуарного устройства:

$$s = \frac{e_0 m \omega^2}{(m + \rho \pi h \sum_{i=1}^n R_i^2) \omega^2 - c}. \quad (3)$$

Отсюда видно, что в отличие от жидкостного АБУ с одним резервуаром, в многорезервуарном устройстве амплитуда колебаний ротора тем меньше, чем больше число резервуаров и чем больше радиусы их внутренних поверхностей. Эта амплитуда колебаний не зависит от массы жидкости в камере при выполнении условия ее достаточности (2).

Используя выражение (3) для многорезервуарного автобалансирующего устройства, можно получить выражения для определения критической частоты вращения ротора и эффективности автоматической балансировки:

$$\omega_k = \sqrt{\frac{c}{m + k \rho \pi h \sum_{i=1}^n R_i^2}}; \quad (4)$$

$$E_e = \frac{m + \rho \pi h \sum_{i=1}^n R_i^2}{m} = 1 + \frac{\rho \pi h \sum_{i=1}^n R_i^2}{m}. \quad (5)$$

Заключение

Результаты проведенной работы показывают, что эффективность автоматической балансировки увеличивается с ростом числа резервуаров. Кри-

тическая частота вращения ротора уменьшается с ростом числа резервуаров.

Литература

1. Саруев Л.А., Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий. - 2010 - №. 6-3 (13) - С. 61-65.
2. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Исследование эффективности балансировки жидкостным автобалансирующими устройствами // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 1. – с. 2. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/107-7919>
3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Кузнецов И.В. Влияние эллипсности и эксцентриситета резервуара на точность автоматической балансировки // Современные проблемы науки и образования – 2013. – № 2. – с. 8. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/108-8472>
4. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Стационарное вращение неуравновешенного ротора, частично заполненного жидкостью при действии сил внешнего трения // Современные проблемы науки и образования – 2012. – № 6. – с. 102. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/106-7825>
5. Мартюшев Н.В. Расчет параметров структуры материалов с помощью программных средств // В мире научных открытий. - 2011 - №. 1 (13) - С. 77-82.
6. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. MATERIALS AND ENGINEERING SCIENCE (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 2. – с. 126-127.
7. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. 2012. – № 5. – с. 79-79.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЛИПСНОСТИ И ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РЕЗЕРВУАРА НА ТОЧНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ

Массон И.А.

Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30
Email: epashkov1@sibmail.com

Введение

В исследованиях, посвященных разработке шаровых и жидкостных автобалансирующих устройств [1], 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 балан-

сировки 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

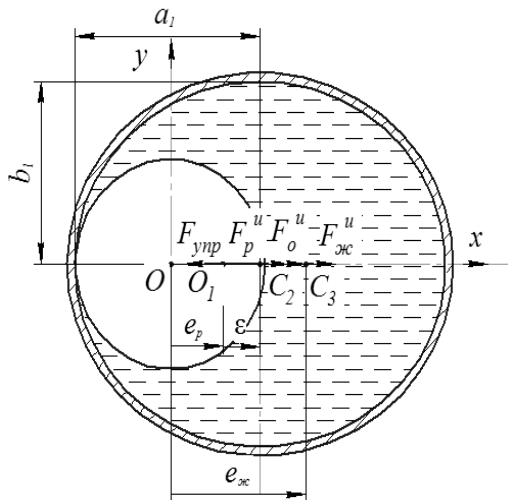


Рис. 1. Схема, поясняющая влияние эллипсности на точность балансировки

Для наглядности взята модель ротора с гибким валом [2]. 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 [3].

Результаты исследования и их обсуждение

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

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

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

Используя уравнение (1) находим прогиб вала

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

Отсюда видно, что прогиб вала s прямо пропорционален эллипсности ε . Если частота вращения ротора значительно больше критической частоты, и выполняется неравенство $m_p \ll \rho \pi a_1 b_1$, 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. Присо-

единяем 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:

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

где $\bar{F}_D^u = m_D e_D \omega^2$ – 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:

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

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 [4]. 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 [5].

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

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

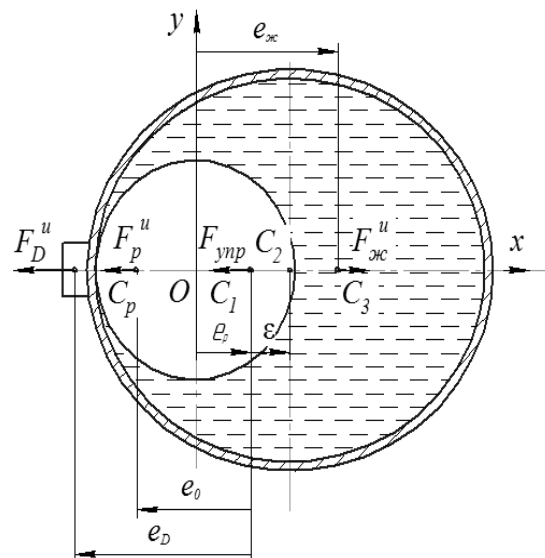


Рис. 2. Графическое пояснение к расположению сил для первого случая

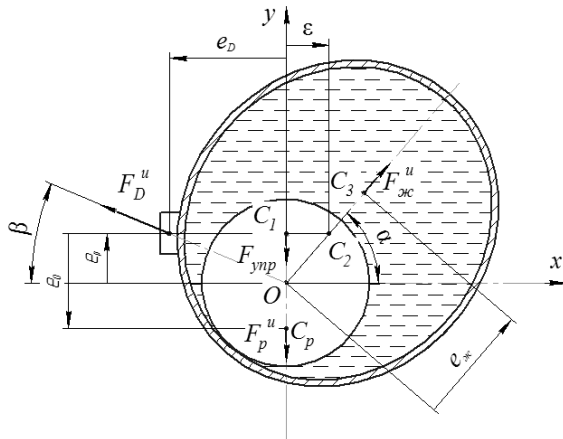


Рис. 3. Графическое пояснение к расположению сил для первого случая

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 кинестатики составляем уравнения установившегося движения в проекциях на оси x, y (6), (7):

$$\begin{cases} F_D^u \cos \beta - F_{жс}^u \cos \alpha = 0; \\ F_D^u \sin \beta + F_{жс}^u \sin \alpha - F_p^u - F_{\gamma p} = 0; \end{cases}$$

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

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

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

Подставляя (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 зависит 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).

Заключение

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.

Литература

1. Саруев Л.А., Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидромпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий. - 2010 - №. 6-3 (13) - С. 61-65.
2. Мартюшев Н.В. Расчет параметров структуры материалов с помощью программных средств // В мире научных открытий. - 2011 - №. 1 (13) - С. 77-82.
3. Пашков Е.Н., Мартюшев Н.В. MATERIALS AND ENGINEERING SCIENCE (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2013. - № 2. - с. 126-127.
4. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. 2012. - № 5. - с. 79-79.
5. Пашков Е.Н., Дубовик В.А. Устойчивость стационарного вращения неуравновешенного ротора с жидкостным устройством на гибком валу // Известия Томского политехнического университета. 2007. - Т. 311. - С. 12.