

суммирования, соответствующего отраженной волне от i -ой отражающей границы) $[t_i; t_i + T]$;

3. оценка фазового спектра трассы коридорного суммирования на интервале анализа;
4. оценка формы i -ой отраженной волны согласно формуле (2);
5. вычитание i -ой отраженной волны из эталонной трассы;
6. повторение пунктов 2-5.

Выводы

Полученная технология позволяет провести оценку формы отраженных продольных волн на всем доступном интервале исследования, кроме

того, она использует реальные измеренные формы падающих волн, и учитывает изменение формы падающей волны с глубиной. Следовательно, данная технология не имеет ограничений, накладываемых на традиционные методы оценки формы отраженной волны, основанные на данных наземной сейсморазведки.

Литература

1. Пузырев Н.Н. Интерпретация данных сейсморазведки методом отраженных волн. – М.: Гостехиздат, 1959. – 451 с.
2. Р. Шерифф, Л. Гелдарт, Сейсморазведка Т.2. – М.: Мир, 1987. – 400 с.

СТАЦИОНАРНОЕ ВРАЩЕНИЕ НЕУРАВНОВЕШЕННОГО РОТОРА, ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОГО ЖИДКОСТЬЮ ПРИ ДЕЙСТВИИ СИЛ ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ

Пономарёв А.В.

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

Введение

В данной статье, в рамках плоской модели, изучается вращение ротора со слоем жидкости на стенке камеры при вязкоупругом действии вала. Предполагается, что границей свободной поверхности жидкости является окружность с центром на оси вращения, а сама она вращается вместе с ротором, как твердое тело.

Материал и методы исследования

Исследование жидкостных автоматических балансирующих устройств (АБУ) сводится к задаче о движении вращающихся тел с полостями, частично заполненными жидкостью [1]. Эта задача сопряжена с математическими трудностями, т.к. требует рассмотрения совместного движения твердого тела и жидкости. Известно ограниченное количество работ, в которых решается указанная задача применительно к АБУ. Так в [2] рассмотрена устойчивость стационарного вращения ротора, частично заполненного жидкостью со свободной поверхностью. Изгибные колебания вала с неуравновешенным диском на нем изучены в [5]. В [3] показано влияние жидкости во вращающемся роторе на автоматическую балансировку механической системы без учета сил сопротивления. Ниже рассматривается установившееся движение неуравновешенного ротора с жидкостью при наличии внешнего сопротивления.

Результаты исследования и их обсуждение

Пусть ротор 1 (рис. 1), содержит камеру 2 частично заполненную однородной несжимаемой жидкостью 3, симметрично закреплен на гибком вертикальном валу, проходящем через геометрический центр O_1 . Центр масс ротора (точка P)

смещен от O_1 на расстояние $O_1P=e$. При вращении ротора вал смещается на величину $O_2O_1=a$, а несжимаемая однородная жидкость, плотностью ρ , перетекает в сторону прогиба вала. При установившемся движении жидкость во вращающемся роторе занимает цилиндрический слой высотой h , свободной поверхностью которого является окружность радиуса r_2 с центром на оси вращения АВ (точка O_2) и вращается с угловой скоростью

$\omega = \dot{\beta}(t) = \text{const}$ [4]. Отсюда центр масс слоя жидкости находится на линии центров O_2O_1 в точке G , а движение ротора является плоским.

Введем в плоскости движения точек O_1 , G , P две системы координат с общим началом в точке O_2 на линии АВ: неподвижную систему $O_2\xi\eta$ и подвижную O_2xy , ось x которой параллельна отрезку O_1P . Угловые скорости вращения ротора и системы O_2xy одинаковые, следовательно, ротор в подвижной системе координат неподвижен. За обобщенные координаты возьмем координаты точки O_1 в подвижной системе O_2xy – x, y .

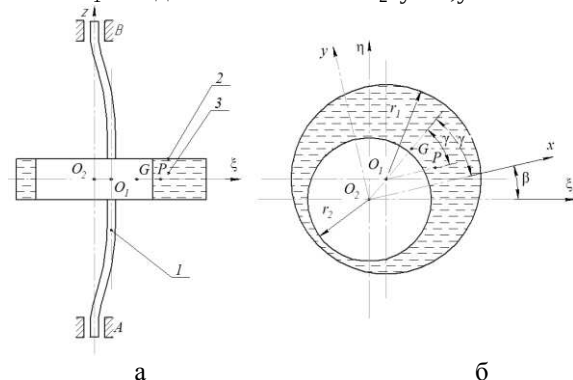


Рис. 1. Ротор: а) схема закрепления; б) сечение с жидкостью

На ротор со стороны вала действует сила упругости $\bar{F}_c = -c \bar{O}_2 \bar{O}_1$ и сила внешнего трения, приложенная в точке O_1 , пропорциональная абсолютной скорости $\bar{V}_{O_1}$ этой точки, $\bar{F}_\chi = -\chi \bar{V}_{O_1}$. Где c и χ коэффициенты упругости и внешнего трения. Природа этих сил подробно изложена в [5]. Так, силы внешнего трения вызваны вязким сопротивлением внешней среды, опор, специальных демпферов и зависят от скоростей абсолютных перемещений точек ротора и вала; силы внутреннего трения порождаются сопротивлением частиц материала и в первом приближении принимаются пропорциональными скорости деформации вала. Согласно принципу Даламбера имеем уравнение равновесия главных векторов внешних сил и сил инерции:

$$-c \bar{O}_2 \bar{O}_1 - \chi \bar{V}_{O_1} - m_1 \bar{a}_P^e - m_2 \bar{a}_G^e = 0 \quad (1)$$

Здесь m_1 и m_2 – массы ротора и жидкости, $\bar{a}_P^e$ и $\bar{a}_G^e$ – переносные ускорения точек P и G соответственно. Координаты этих точек определяются выражениями (2):

$$x_P = x + e, \quad y_P = y, \quad x_G = rx, \quad y_G = ry,$$

где $r = r_1^2 / (r_1^2 - r_2^2)$ – коэффициент, характеризующий наполнение камеры; r_1 – радиус камеры, r_2 – радиус внутренней поверхности жидкости.

Проецируя (1) на оси x , y и используя (2) для вычисления $\bar{V}_{O_1}$, $\bar{a}_P^e$ и $\bar{a}_G^e$, получаем уравнения стационарного движения системы:

$$\begin{aligned} cx - \chi \omega y - m \omega^2 x &= m_1 e \omega^2; \\ cy + \chi \omega x - m \omega^2 y &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $m = m_1 + r m_2$, m_1 – масса ротора, m_2 – масса жидкости.

Из уравнения равновесия моментов всех сил относительно оси AB , можно определить вращающий момент, приложенный к валу со стороны двигателя. Считаем, что двигатель развивает усилие, обеспечивающее заданное вращение ротора.

Решение уравнений (3) имеет вид:

$$\begin{aligned} x &= \frac{m_1 e \omega^2 (c - m \omega^2)}{(c - m \omega^2)^2 + \chi^2 \omega^2}; \\ y &= -\frac{m_1 e \chi \omega^3}{(c - m \omega^2)^2 + \chi^2 \omega^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Полагая в (4) $\chi=0$, получаем решение для однокамерного АБУ без внешнего сопротивления, рассмотренное в [9]. По формулам (4), (2) вычисляет-

ся прогиб вала $a = \sqrt{x^2 + y^2}$ и отклонение центра масс системы от оси AB

$$r_c = \frac{\sqrt{(x_P m_1 + x_G m_2)^2 + (y_P m_1 + y_G m_2)^2}}{(m_1 + m_2)},$$

которые в безразмерных переменных принимают вид (5):

$$\begin{aligned} a^* = \frac{a}{e} &= \frac{z}{\sqrt{D}}; \quad r_c^* = \frac{r_c}{e} = \frac{\sqrt{1+nz}}{(1+\mu)\sqrt{D}}; \\ D &= [1 - (1+r\mu)z]^2 + nz, \end{aligned}$$

где $z = m_1 \omega^2 / c$ – квадрат отношения частоты вращения к собственной частоте ротора, $n = \chi^2 / (c m_1)$ – безразмерный коэффициент сопротивления, $\mu = m_2 / m_1$ – отношение массы жидкости к массе ротора.

Угол сдвига фазы движения γ определяется формулой:

$$\operatorname{tg} \gamma = y/x = -\frac{\chi \omega}{c - m \omega^2}. \quad (6)$$

Это выражение соответствует отсутствию жидкости, т.е. при $m=m_1$.

Из выражений (4–6) следует, что при $\omega \rightarrow \infty$ ($z \rightarrow \infty$) $a \rightarrow m_1 e / m$, т.е. прогиб вала становится меньше неустойчивости e , т.к. $m_1 / (m_1 + r m_2) < 1$; $r_c \rightarrow 0$, $\gamma \rightarrow \pi$, $x \rightarrow -m_1 e / m$, $y \rightarrow 0$; координаты центров масс ротора и слоя жидкости принимают значения: $x_P = r m_2 e / m$, $y_P = 0$; $x_G = -r m_1 e / m$, $y_G = 0$.

Таким образом, при больших угловых скоростях вращения ротора ω центр масс системы стремится занять положение на оси вращения AB ; происходит самоцентрирование системы.

Видно, что с увеличением массы жидкости в роторе происходит уменьшение критической скорости, при которой прогиб вала достигает максимума (появляется резонанс) [6]. Дальнейший анализ расчетов показывает, что с увеличением внешнего сопротивления при неизменном μ критическая скорость и соответствующий ей прогиб уменьшаются, а самоцентрирование системы ($r_c \rightarrow 0$) ускоряется.

При постоянном сопротивлении ($n=\text{const}$) увеличение массы жидкости (параметра μ) так же ускоряет самоцентрирование системы. Критическая частота вращения ротора при одних и тех же значениях n и μ уменьшается с ростом параметра r .

Заключение

Результаты проведенной работы показывают, что увеличение массы жидкости в роторе уменьшает его критическую скорость вращения. Внешнее трение ускоряет самоцентрирование системы. Полученные соотношения позволяют производить выбор конструктивных параметров жидкостного

