

## УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АППАРАТА С НОРМАЛИЗОВАННЫМИ БЫСТРОХОДНЫМИ МЕШАЛКАМИ

Известно [1, 2], что аппараты с шарнирно закрепленным валом и нормализованными [3] быстроходными мешалками имеют ряд преимуществ. Шарнирное крепление обеспечивает сложное движение перемешивающего устройства в среде, что существенно интенсифицирует процесс перемешивания. Кроме того, шарнирная схема крепления вала в четыре раза увеличивает собственную частоту его поперечных колебаний. Это повышает надежность работы аппарата в дорезонансной области при больших скоростях вращения перемешивающих устройств.

Аппараты с шарнирно закрепленным валом прошли промышленные испытания и в настоящее время используются при производстве полистирола Днепродзержинского химкомбината. Многолетний опыт эксплуатации показал устойчивую, надежную работу аппаратов и возможность интенсивного проведения технологических процессов в них.

Повышенные скорости вращения вала в аппарате с прецессионным движением мешалки вызывают необходимость более точного расчета динамических характеристик шарнирно закрепленной части.

Анализ кинематики движения шарнирно закрепленной системы в жидкой среде позволил определить схему сил, действующих на нее. Величины этих сил определяются зависимостями (в Н):

$$P_B = m_B g \sin \theta \left( \frac{1}{2} + \frac{m_M}{m_B} \right);$$

$$P_{II} = m_B \Omega^2 L \sin \theta \left( \frac{1}{3} + \frac{m_M}{m_B} \right);$$

$$S_B = \xi_B \frac{\rho b}{2} \Omega^2 \sin^2 \theta \left( \frac{d_B}{B} \frac{L^3 - H^3}{3L^2 d_M} + 1 \right) L^2 d_M;$$



$$S'_{\text{ж}} = C_{\text{в}} \frac{\rho d_{\text{в}}}{6} \Omega^2 \sin^2 \theta (L^3 - H^3);$$

$$S''_{\text{ж}} = C_{\text{м}} \frac{\rho b}{2} \Omega^2 \sin^2 \theta L^2 d_{\text{м}},$$

где  $P_{\text{в}}$  — сила веса шарнирно закрепленной системы, Н;  $m_{\text{в}}$  — масса вала, кг;  $g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $m_{\text{м}}$  — масса мешалки, кг;  $\theta$  — угол отклонения вала от вертикальной оси аппарата, рад;  $P_{\text{и}}$  — сила инерции шарнирно закрепленной системы, Н;  $\Omega$  — угловая скорость прецессионного движения вала, рад/с;  $L$  — длина шарнирно закрепленной части вала, м;  $S_{\text{в}}$  — сила сопротивления среды прецессионному движению системы, Н;  $\xi_{\text{в}}$  — коэффициент сопротивления;  $\rho$  — плотность среды,  $\text{кг/м}^3$ ;  $b$  — высота мешалки, м;  $d_{\text{в}}$  — диаметр вала, м;  $H$  — длина части вала, не погруженной в жидкость, м;  $d_{\text{м}}$  — диаметр мешалки, м;  $S'_{\text{ж}}$  — подъемная сила Жуковского, возникающая при вращении вала;  $S''_{\text{ж}}$  — подъемная сила Жуковского, возникающая при вращении мешалки, Н;  $C_{\text{в}}$  и  $C_{\text{м}}$  — соответственно коэффициенты подъемной силы Жуковского для вала и мешалки, величины которых зависят от свойств среды, размеров системы и которые можно определить с помощью результатов работ [4,5]. Для рассматриваемого случая получены следующие выражения для определения этих коэффициентов:

$$C_{\text{в}} = \frac{4}{9} \frac{\omega^2}{\Omega^2} \left( \frac{L^3 - H^3}{L^4 - H^4} \right)^2 \frac{d_{\text{в}}^2}{\sin^2 \theta};$$

$$C_{\text{м}} = \frac{1}{4} \frac{\omega^2}{\Omega^2} \frac{d_{\text{м}}^2}{L^2} \frac{1}{\sin^2 \theta}.$$

Из условий равновесия системы и после некоторых преобразований окончательно получаем зависимости для расчета  $\theta$  и  $\Omega$ :

$$\sin \theta = 0,05 \frac{\rho b}{\rho_{\text{в}}} \frac{d_{\text{м}}}{L} \omega^2 \left( \frac{d_{\text{м}}}{d_{\text{в}}^2} + \frac{4}{3} C \right) \frac{\frac{1}{4} + \frac{m_{\text{м}}}{m_{\text{в}}}}{\frac{1}{2} + \frac{m_{\text{м}}}{m_{\text{в}}}},$$



где

$$C = \frac{d_B}{b} \frac{L^4 - H^4}{4L^3 d_M}$$

$$\Omega = \sqrt{\frac{g}{l}} ;$$

где  $l$  — расстояние от точки подвеса вала до центра масс системы, м. При получении приведенных зависимостей приня-

$$l = L \frac{\frac{1}{2} + \frac{m_M}{m_B}}{1 + \frac{m_M}{m_B}}$$

Выводы. На основе анализа кинематики движения прецессирующего вала реактора с учетом подъемной силы Жуковского получены уточненные зависимости для расчета угла отклонения  $\theta$  шарнирно закрепленного вала от вертикальной оси аппарата с нормализованными быстроходными перемешивающими устройствами. Дана расчетная формула для определения частоты прецессионного движения  $\Omega$ . Приведенные зависимости с учетом значений коэффициентов подъемной силы Жуковского могут быть использованы при расчете реакторов с шарнирно закрепленным быстроходным валом.

#### Л и т е р а т у р а

1. Бортников И.И. и др. Авт.свид.№ 246481, кл. 12e, 1/01. — Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, 1969, № 21.
2. Бортников И.И. и др. Исследование динамических характеристик вала аппарата с прецессионным движением мешалки. — Химическое и нефтяное машиностроение, 1967, № 6, с. 21-23.
3. МН 5874-66. Аппараты с перемешивающими устройствами вертикальные. Перемешивающие устройства механические. Типы, параметры, конструкция и исполнительные размеры. М., 1970.
4. Кафаров В.В. Основы массопередачи. М., 1972.
5. Офицеров А.С. Течение Жуковского и потери энергии. — Научн.докл. высш. школы. Сер. "Энергия", 1958, № 3, с. 13-19.