

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АППАРАТА С ШАРНИРНО ЗАКРЕПЛЕННОЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ МЕШАЛКОЙ

Известно [1--4], что использование быстроходных мешалок на шарнирно закрепленном валу позволяет значительно уменьшить диаметр вала и одновременно повысить рабочие скорости мешалки в надежной дорезонансной области. Такие мешалки рекомендуется применять для перемешивания сред объемом 20 м³ и выше.

Шарнирное крепление вала в аппарате представляет интерес и при использовании тихоходных мешалок, несимметричных относительно продольной оси вала [5]. Проведенные исследования технологических характеристик таких аппаратов [6,7] показали, что при перемешивании взвесей удельные энергетические затраты значительно снижаются по сравнению с затратами при перемешивании в стандартных аппаратах [8]. Это обстоятельство особенно важно при перемешивании больших объемов.

Как уже отмечалось [7], шарнирно закрепленный вал с лопастью ввиду несимметричности последней отклоняется на угол θ от вертикальной оси с углом α между проекциями вала и лопасти на горизонтальную плоскость (рис. 1). Кроме того, указывалось, что в зависимости от угловой скорости вращения работа мешалки разделена на три режима: докритический, критический и закритический, соответствующие положению мешалки а, б и в на рис. 1.

В работе [1] приводятся уравнения движения шарнирно закрепленного вала с мешалкой в жидкой среде. Для нашего случая эти уравнения примут следующий вид:

$$\theta = C_{\theta} (Re_{\text{ц}})^{a_1} (Fr_{\text{ц}})^{b_1} \left(\frac{D}{r}\right)^{c_1} \left(\frac{b}{r}\right)^{d_1} \left(\frac{L}{r}\right)^{e_1} \times \left(\frac{d}{r}\right)^{f_1} \left(\frac{H_0}{r}\right)^{g_1}; \quad (1)$$

$$\alpha = C_{\alpha} (Re_{\text{ц}})^{a_2} (Fr_{\text{ц}})^{b_2} \left(\frac{D}{r_M}\right)^{c_2} \left(\frac{b}{r_M}\right)^{d_2} \left(\frac{L}{r_M}\right)^{e_2} \times$$

$$\times \left(\frac{d}{r_M}\right)^{f_2} \left(\frac{H_0}{r_M}\right)^{g_2} \quad (2)$$

где C_{θ} , C_{α} , a_1 , b_1 , c_1 , d_1 , e_1 , f_1 , g_1 , a_2 , b_2 , c_2 , d_2 , e_2 , f_2 , g_2 — коэффициенты уравнений и показатели степеней, определяемые опытным путем; $Re_{\text{ц}} = \frac{\rho n r_M^2}{\mu}$ — центробежный критерий Рейнольдса; $Fr_{\text{ц}} = \frac{n^2 r_M}{g}$ — центробежный критерий Фруда; r_M — длина мешалки, м; b — высота мешалки, м; L — длина вала, м; d_b — диаметр вала, м; D — диаметр аппарата, м; H_0 — высота наполнения аппарата средой, м; ρ — плотность среды, кг/м³; μ — вязкость среды, н·с/м².

С целью определения коэффициентов и показателей степеней в уравнениях (1) и (2) были проведены экспериментальные исследования. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Применяли: сосуды диаметром 300 и 600 мм с прозрачным, выполненным из оргстекла плоским дном; мешалки с $r_M = 60, 75$ и 100 мм при $\frac{b}{r_M} = 0,2$ и $r_M = 100$ мм при

$\frac{b}{r_M} = 0,1, 0,4$ и $0,6$; валы с $L = 300, 400, 500, 590$ мм и

$d_b = 9,5$ мм, а также с $L = 365$ мм диаметром $d_b = 10; 15; 25$ мм. Высоту наполнения сосуда средой изменяли: $H_0 = 50, 100, 150; 200; 300$ мм. В качестве жидких сред использовали воду и технический глицерин ($\rho = 1250$ кг/см³). Вязкость глицерина изменяли нагреванием от $3,03$ до $0,33$ н·с/м².

При исследовании зависимости углов θ и α от размеров скорости вращения мешалок и свойств среды использовали кино съемку. Кинокамеру устанавливали под дном аппарата и располагали на его оси симметрии.

Спыты показали, что в установившемся режиме вал с мешалкой совершает в жидкой среде устойчивое движение и не требует ограничителей угла отклонения от вертикальной

оси. В период пуска таких мешалок необходимо либо применять ограничители угла отклонения вала, которые просты по конструкции и надежны в работе [9], либо осуществлять плавное увеличение скорости вращения мешалки.

Эксперименты показали, что угол хода лопасти не зависит от отношений $(\frac{b}{r_M})$ и $(\frac{H_0}{r_M})$.

Проведенные опыты позволили получить зависимости для определения угла отклонения вала от вертикальной оси θ и угла хода лопасти α в докритическом и закритическом режиме ее работы:

$$\theta_{\text{докр}} = 5,9 Re_{\text{ц}}^{0,075} Fr_{\text{ц}}^{0,25} \left(\frac{D}{r_M}\right)^{0,53} \left(\frac{b}{r_M}\right)^{0,2} \times \left(\frac{L}{r_M}\right)^{-1,5} \left(\frac{d_B}{r_M}\right)^{-1,0} \left(\frac{H_0}{r_M}\right)^{0,18}; \quad (3)$$

$$\theta_{\text{закр}} = 2,2 Re_{\text{ц}}^{0,075} Fr_{\text{ц}}^{-0,15} \left(\frac{D}{r_M}\right)^{0,037} \left(\frac{b}{r_M}\right)^{0,2} \times \left(\frac{L}{r_M}\right)^{-1,5} \left(\frac{d_B}{r_M}\right)^{-1,0} \left(\frac{H_0}{r_M}\right)^{0,18}; \quad (4)$$

$$\alpha_{\text{докр}} = 1,42 \cdot 10^{-3} Re_{\text{ц}}^{0,25} Fr_{\text{ц}}^{-2,0} \left(\frac{D}{r_M}\right)^{-0,65} \left(\frac{L}{r_M}\right)^{-0,9} \times \left(\frac{d_B}{r_M}\right)^{0,06}; \quad (5)$$

$$\alpha_{\text{докр}} = 97,4 Re_{\text{ц}}^{0,2} Fr_{\text{ц}}^{0,75} \left(\frac{D}{r_M}\right)^{0,8} \left(\frac{L}{r_M}\right)^{0,32} \times \left(\frac{d_B}{r_M}\right)^{0,37}. \quad (6)$$

Расхождение опытных значений $\theta_{\text{докр}}$, $\theta_{\text{закр}}$, $\alpha_{\text{докр}}$ и $\alpha_{\text{закр}}$ и вычисленных соответственно по выражениям (3), (4), (5) и (6) составляют в среднем $\pm 15\%$ для θ и $\pm 20\%$ для α .

Решая выражения (3)–(6), получим простые зависимости для расчетного определения угла отклонения вала от верти-

кальной оси θ и угла хода лопасти α в докритическом и закритическом режимах (в град):

$$\theta_{\text{докр}} = 3,33 \frac{\rho^{0,075} n^{0,58} r_M^2 D^{0,53} b^{0,2} H_o^{0,18}}{M^{0,075} L^{1,5} d_b};$$

$$\theta_{\text{закр}} = 3,1 \frac{\rho^{0,075} r_M^2 D^{0,037} b^{0,2} H_o^{0,18}}{\mu^{0,075} n^{0,22} L^{1,5} d_b};$$

$$\alpha_{\text{докр}} = 0,14 \frac{\rho^{0,25} d_b^{0,06}}{\mu^{0,25} n^{3,8} r_M^{1,3} D^{0,65} L^{0,9}};$$

$$\alpha_{\text{закр}} = 17,5 \frac{\rho^{0,2} n^{1,7} D^{0,8} L^{0,32} d_b^{0,37}}{\mu^{0,2} r_M^{0,32}}.$$

В критическом режиме, когда $\alpha = 0$, значение угла θ можно получить по выражению

$$\theta_{\text{кр}} = \arcsin \frac{r_M}{2L}. \quad (7)$$

Уравнения (3)---(6) справедливы в следующих пределах изменения переменных:

$$Re_{\text{ц}} = 1 - 2 \cdot 10^4; \quad Fr_{\text{ц}} = 2 \cdot 10^{-3} - 40 \cdot 10^{-3}; \quad \frac{D}{r_M} = 3 - 5;$$

$$\frac{b}{r_M} = 0,1 - 0,6; \quad \frac{L}{r_M} = 3,65 - 5,9; \quad \frac{d_b}{r_M} = 0,095 - 0,25;$$

$$\frac{H_o}{r_M} = 0,5 \div 3.$$

Л и т е р а т у р а

1. Бортников И.И. Исследование работы аппарата с прецессионным движением мешалки. -- Канд. дис. Л., 1970. 2.
- Таганов Н.И. и др. Авт. свид. № 197513, кл. 12e, 4/01. -- "Изобретения, промышленные образцы, товарные знаки", 1967, № 13, с. 18.
3. Бортников И.И. и др. Некоторые характе -

ристики аппаратов с прецессионным движением мешалки. —
"Химическое и нефтяное машиностроение", 1967, № 6, с.
21—23. 4. Бортников И.И., Павлушенко И.С., Мильчен-
ко А.И. Исследование динамических характеристик вала в
аппарате с прецессионным движением мешалки. — "Химическое
и нефтяное машиностроение", 1971, № 6, с. 10—12. 5. Борт-
ников И.И., Павлушенко И.С., Медведев В.Д. Авт.
свид. № 392959, кл. В 01 f, 7/16. — "Открытия, изобретения
промышленные образцы, товарные знаки", 1973, № 33, с. 20. 6.
Бортников И.И., Павлушенко И.С. Некоторые характе-
ристики несимметричных шарнирно закрепленных мешалок. —
"Химическое и нефтяное машиностроение", 1974, № 9, с. 11 —
13. 7. Бортников И.И., Павлечко В.Н., Павлушенко И.С.
О работе аппарата с несимметричными шарнирно закрепленны-
ми мешалками. — В сб.: Химия и химическая технология.
Минск, вып. 7, 1974, с. 165—170. 8. МН 5874—66. Аппараты с
перемешивающими устройствами вертикальные. Перемешиваю-
щие устройства механические. Типы, параметры, конструкция
и исполнительные размеры. М., 1970. 9. Медведев В.Д. и
др. Авт. свид. № 411883, кл. В 01 f, 13/04. — "Открытия, изоб-
ретения, промышленные образцы, товарные знаки", 1974, № 3,
с. 26.