

6. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на свойства отливок из бронзы брос 10-10 // Литейное производство. 2011. № 6. С. 11-13.

7. Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р. Уравнения движения ротора с многокамерным жидкостным автобалансирующим устройством // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55. № 5-2. С. 80-83.

8. Мартюшев Н.В., Синогина Е.С., Шереметьева У.М. Система мотивации студентов высших учебных заведений к выполнению научной работы // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2013. № 1 (129). С. 48-52.

9. Мартюшев Н.В. Параметры дендритной структуры медных сплавов // Известия высших учебных заведений. Физика. 2011. Т. 54. № 11-3. С. 229-232.

10. Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Дифференциальные уравнения процессов гидроимпульсного силового механизма бурильных машин // Приволжский научный вестник. 2013. № 4 (20). С. 32-36.

11. Пашков Е.Н., Саруев Л.А., Зиякаев Г.Р. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) -2011. -№ 5 -С. 26-31.

СТАЦИОНАРНОЕ ВРАЩЕНИЕ НЕУРАВНОВЕШЕННОГО РОТОРА

А.В. Пономарёв, студент ИФВТ ТПУ

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30*

E-mail: epashkov@tpu.ru

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 балансирных 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 [3-5]. В [6] 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 AB (точка O_2) и вращается с угловой скоростью $\omega = \dot{\beta}(t) = const$ [7-9]. 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 AB : 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 $O_2xy - x, y$.

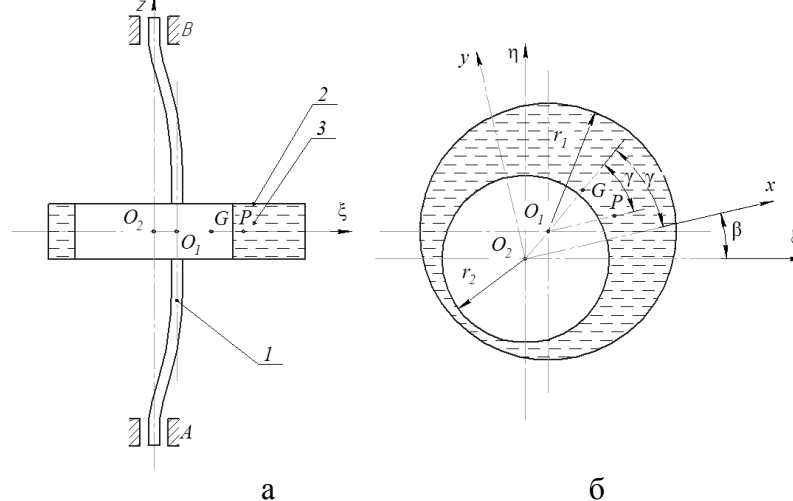


Рис. 1. а – Схема закрепления ротора; б – Сечение ротора с жидкостью

На ротор со стороны вала действует сила упругости $\overline{F}_c = -c \overline{O_2O_1}$ и сила внешнего трения, приложенная в точке O_1 , пропорциональная абсолютной скорости \overline{V}_{O_1} этой точки, $\overline{F}_\chi = -\chi \overline{V}_{O_1}$. Где c и χ коэффициенты упругости и внешнего трения. Природа этих сил подробно изложена в [10]. Так, силы внешнего трения вызываются 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:

$$-c \overline{O_2O_1} - \chi \overline{V}_{O_1} - m_1 \overline{a}_P^e - m_2 \overline{a}_G^e = 0 \quad (1)$$

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:

$$cx - \chi\omega y - m\omega^2 x = m_1 e \omega^2; \quad (3)$$

$$cy + \chi\omega x - m\omega^2 y = 0.$$

Здесь $m = m_1 + rm_2$, 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:

$$x = \frac{m_1 e \omega^2 (c - m\omega^2)}{(c - m\omega^2)^2 + \chi^2 \omega^2}; \quad (4)$$

$$y = -\frac{m_1 e \chi \omega^3}{(c - m\omega^2)^2 + \chi^2 \omega^2}.$$

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

$$a^* = \frac{a}{e} = \frac{z}{\sqrt{D}}; \quad r_c^* = \frac{r_c}{e} = \frac{\sqrt{1+nz}}{(1+\mu)\sqrt{D}};$$

$$D = [1 - (1+r\mu)z]^2 + nz,$$

где $z = m_1 \omega^2 / c$ – квадрат отношения частоты вращения к собственной частоте ротора, $n = \chi^2 / (cm_1)$ – безразмерный коэффициент сопротивления, $\mu = m_2 / m_1$ – отношение массы жидкости к массе ротора.

Угол сдвига фазы движения γ определяется формулой:

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

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 неуравновешенности e , т.к. $m_1 / (m_1 + rm_2) < 1$; $r_c \rightarrow 0$, $\gamma \rightarrow \pi$, $x \rightarrow -m_1 e / m$, $y \rightarrow 0$; координаты центров масс ротора и слоя жидкости принимают значения: $x_P = rm_2 e / m$, $y_P = 0$; $x_G = -rm_1 e / m$, $y_G = 0$.

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) [11]. 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 ($n = const$) 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 АБУ, работающего в заданном диапазоне угловых скоростей ротора.

Список литературы:

1. Дубовик В.А., Пашков Е.Н. Нестационарное движение неуравновешенного ротора с жидкостным автобалансирующим устройством при скачкообразном изменении угловой скорости // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 5. С. 123-126.
2. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на структуру и свойства бронз, содержащих свинец // Metallurgia машиностроения. 2010. № 4. С. 32-36.
3. Саруев Л.А., Зиякаев Г.Р., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий. 2010. № 6-3. С. 61-65.
4. Yakovlev A.N., Kostikov K.S., Martyushev N.V., Shepotenko N.A., Falkovich Y.V. Institute of high technology physics experience in masters of engineering and doctoral training: the platform for cooperation with russian and international companies in the domain of material science and physics of high energy systems // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55. № 11-3. С. 256.
5. Дубовик В.А., Пашков Е.Н. Стационарное вращение неуравновешенного ротора с жидкостным автобалансирующим устройством при действии сил внешнего трения // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 4. С. 145-146.
6. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на свойства отливок из бронзы брос 10-10 // Литейное производство. 2011. № 6. С. 11-13.
7. Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р. Уравнения движения ротора с многокамерным жидкостным автобалансирующим устройством // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55. № 5-2. С. 80-83.
8. Мартюшев Н.В., Синогина Е.С., Шереметьева У.М. Система мотивации студентов высших учебных заведений к выполнению научной работы // Вестник

Томского государственного педагогического университета. 2013. № 1 (129). С. 48-52.

9. Мартюшев Н.В. Параметры дендритной структуры медных сплавов // Известия высших учебных заведений. Физика. 2011. Т. 54. № 11-3. С. 229-232.

10. Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Дифференциальные уравнения процессов гидроимпульсного силового механизма бурильных машин // Приволжский научный вестник. 2013. № 4 (20). С. 32-36.

11. Пашков Е.Н., Саруев Л.А., Зиякаев Г.Р. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) -2011. -№ 5 -С. 26-31.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ОХЛАЖДЕНИЯ РАСПЛАВОВ В НАГРЕТЫХ ФОРМАХ

И.В. Семенков, аспирант ИФВТ ТПУ

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30*

E-mail: martjushev@tpu.ru

Введение

Значительное количество научных исследований в материаловедении посвящено проблемам формирования структуры и свойств материалов в процессе кристаллизации. Один из наиболее часто изучаемых параметров это скорость охлаждения. Скорость охлаждения достаточно просто изменить путем изменения материала литейной формы, нагрева или охлаждения литейной формы. При этом влияние, оказываемое на структуру и свойства этого фактора, зачастую оказывается весьма значительно. Например, для антифрикционных марок бронз (свинцовистых, свинцово-оловянистых) изменение скорости охлаждения в процессе кристаллизации приводит к изменению формы свинцовых включений, величины зерна и параметров дендритной ячейки матрицы, количества твердого эвтектоида. Все эти изменения сказываются на свойствах отливок [1]. Среди уже проведенных исследований имеется множество работ посвященных свойствам получаемым отливками в литейные формы из различных материалов, но при этом количественные значения скоростей охлаждения при этом, как правило, не приводятся.

Материал и методы исследования

Данная работа посвящена созданию и апробированию методики определения скоростей охлаждения в процессе кристаллизации свинцово-оловянистых бронз. Из существующих способов влияния на скорость охлаждения было выбрано два – использование форм различной теплопроводности и нагрев литейной формы до различных температур [2-4]. Сочетание двух этих способов дает возможность получать скорости охлаждения отливки в широком интервале и вместе с тем не требует значительных затрат времени и средств на их реализацию.

С помощью прибора «Термограф», разработанного на кафедре ПМЭ Томского политехнического университета, строились зависимости температуры залитого расплава от времени. По построенным зависимостям в интервале от температуры