

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 // Металлургия 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.

## **ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА УРАВНОВЕШИВАНИЕ В ЖИДКОСТНЫХ АВТОБАЛАНСИРАХ**

*В.В. Урниш, студент ИФВТ ТПУ*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,*

*634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30*

*E-mail: epashkov@tpu.ru*

### **Введение**

Особенностью балансировки жидкостью является то, что при произвольном расположении ротора балансировочное вещество испытывает не только действие

центробежных сил, но и сил тяжести, в результате чего свободная поверхность не является цилиндрической. Здесь рассматривается вопрос о влиянии сил тяжести на балансирующие процессы.

#### Материал и методы исследования

Ось вращения жидкостного автоматического балансирующего устройства (АБУ) может быть горизонтальной, вертикальной, наклонной или перемещающейся в пространстве в процессе эксплуатации.

Жидкость, свободно заливаемая во вращающуюся вокруг горизонтальной оси оболочку, растекается по ней под действием кинетической энергии струи и вовлекается во вращательное движение за счет сил трения жидкости о форму. Однако такая скорость частиц балансирующего вещества при его вращении вокруг горизонтальной оси не может быть постоянной из-за пульсации результирующей силы в течение оборота АБУ, так как она складывается из постоянной по величине и направлению силы тяжести и постоянной по величине, но меняющейся по направлению центробежной силы [1, 2]. Это приводит к тому, что свободная поверхность жидкости, смещается книзу от оси вращения, что вносит дополнительный дисбаланс.

При вертикальной оси вращения свободно заливаемая в оболочку жидкость постепенно увлекается ею во вращательное движение. Через некоторое время угловые скорости вращения отдельных слоев балансирующего вещества и самой оболочки выравниваются, и жидкость приходит в состояние относительного покоя. Пульсации результирующей силы за период оборота формы в этом случае не происходит, так как направление центробежной силы при вращении относительно вертикальной оси не изменяется.

Подобные случаи рассмотрены [3, 4].

#### Результаты исследования и их обсуждение

При расчете скорости вращения оболочки с горизонтальной осью вращения по коэффициенту гравитации учитывают, что на частицы жидкости действует центробежная сила (рис. 1):

$$F_y = m\omega^2 R,$$

где  $m$  – масса частицы, кг;

$\omega$  – ее угловая скорость,  $\text{с}^{-1}$ ;

$R$  – радиус вращения частицы, м.

Коэффициент гравитации  $K$  является отношением

$$K = \frac{F_y}{F_g} = \frac{\omega^2 R}{g},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Искомая угловая скорость камеры составит:

$$\omega = \sqrt{\frac{gK}{R}}. \quad (1)$$

Из последней формулы видно, что скорость, при которой силами тяжести можно пренебречь, сильно зависит от радиуса  $R$  и коэффициента гравитации  $K$ . Причем, чем меньше  $K$  и больше  $R$ , тем меньше получается угловая скорость вращения  $\omega$ . Примем для оценочных расчетов диаметра  $R=0,1$  м и коэффициента гравитации  $K=10$ , тогда получаем  $\omega=31,32 \text{ с}^{-1}$ .

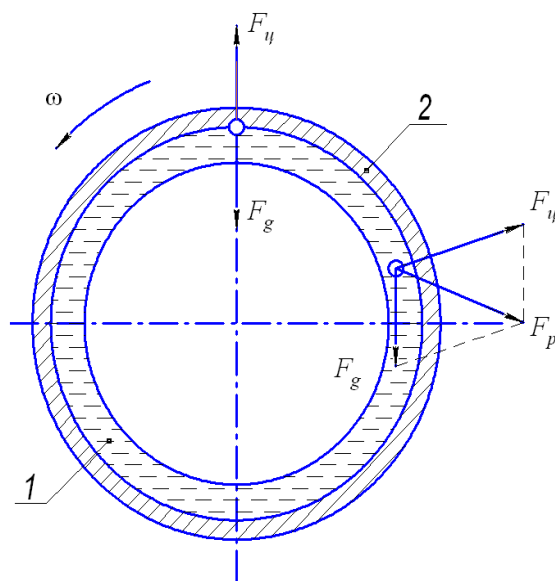


Рис. 1. Гидростатические силы, действующие на жидкость при вращении камеры относительно горизонтальной оси: 1 – жидкость; 2 – оболочка;  $F_p$  – равнодействующая сил центробежной и тяжести.

При вращении оболочки относительно вертикальной оси внутренняя поверхность жидкости будет иметь форму параболоида вращения (рис. 2), которая образуется в результате одновременного действия центробежной силы  $F_u$  и силы тяжести  $F_g$  (в этом случае силы взаимно перпендикулярны). Это означает, что толщина слоя балансирующего вещества в верхней и нижней частях камеры будет различной.

Экспериментально установлено, что наилучшей является такая скорость вращения, при которой уклон внутренней поверхности составляет 1:20. Уменьшить разностенность слоя жидкости можно, значительно повышая скорость вращения ротора.

Для расчета скорости вращения АБУ с вертикальной осью вращения применяют обычно формулу для горизонтально расположенного ротора [5-8]. В результате, для значения  $K=20$ , скорость вращения, при которой можно не учитывать влияние сил тяжести,  $\omega=44,29 \text{ с}^{-1}$ .

Произвольное расположение в пространстве балансирующего устройства, является комбинацией двух рассмотренных случаев, поэтому для оценки минимальной скорости вращения можно применять полученную зависимость (2) при большем значении  $K=20$ .

Кроме того, для расчета скорости вращения при центробежном литье используют полуэмпирические формулы Константинова и Кэммена.

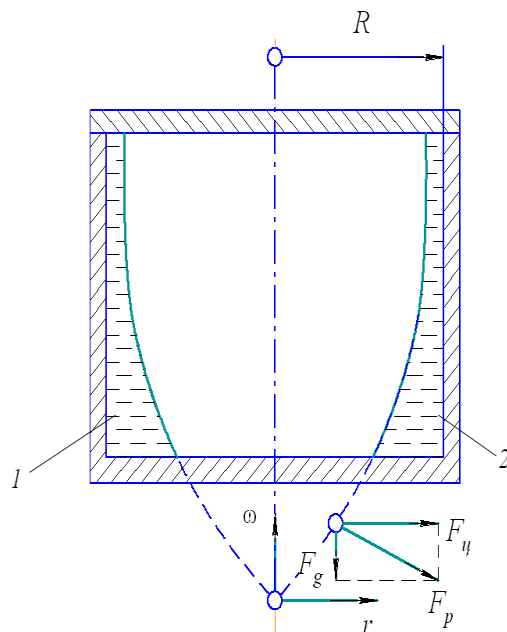


Рис. 2. Гидростатические силы, действующие на жидкость при вращении камеры относительно вертикальной оси вращения: 1 – жидкость; 2 – оболочка.

Формула Кэммена:

$$n = \frac{K_0}{r}$$

Формула Константинова:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot r}}$$

где  $n$  – число оборотов изложницы в об/мин.;

$r$  – наружный радиус отливки в см;

$K_0$  – коэффициент различный для разных сплавов;

$\gamma$  – объемный вес сплава.

Результаты, получаемые по обеим формулам, почти совпадают [9-10]. В основу этих формул положено выражение числа оборотов через гравитационный коэффициент, хотя и в скрытой форме, поэтому проще воспользоваться следующим выражением:

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

В гидродинамическом расчете скорости вращения учитывают, кроме действия гравитационных и центробежных сил, так же силу трения жидкости об оболочку. При этом методе расчета скорости вращения получают меньшими, чем при расчете по гидростатическим зависимостям [11].

### Заключение

В результате проведенных исследований были получены скорости оценивающие возможность применения жидкостей в качестве балансировочных на небольших скоростях вращения.

**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.