

## ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОБАЛАНСИРА С МНОГОРЕЗЕРВУАРНЫМ УСТРОЙСТВОМ

Пашков Е. Н., Мартюшев Н. В., Зиякаев Г. Р., Кузнецов И. В.

*ГФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия (634050, Томск, пр. Ленина, 30), e-mail: epashkov1@sibmail.ru*

**В статье моделируется поведение жидкостного автобалансирующего устройства. Для проведения математических исследований используется модель ротора, содержащая резервуар-обойму, закрепляемую на жестком валу, который имеет возможность вращения в подшипниках. Для математических исследований взято автобалансирующее устройство с несколькими резервуарами. В статье приведена схема сил действующих в многорезервуарной системе балансировки. Приводятся данные о влиянии различных факторов на точность балансировки, а также основные особенности расчета многорезервуарных автобалансиров. Результаты проведенной работы показывают, что эффективность автоматической балансировки увеличивается с ростом числа резервуаров. Критическая частота вращения ротора уменьшается с ростом числа резервуаров.**

Ключевые слова: автоматическое балансировочное устройство, вращение ротора, самоцентрирующаяся система, прогиб ротора, моделирование.

## EFFICIENCY RESEARCH OF LIQUID AUTOBALANCING DEVICES

Pashkov E. N., Martynushev N. V., Ziyakayev G. R. , Kuznetsov I. V.

*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30), e-mail: epashkov1@sibmail.ru*

**In article the behavior of the liquid avtobalancing device is modelled. For carrying out mathematical researches the model of a rotor containing the tank holder, fixed on rigid to a shaft which has rotation possibility in bearings is used. For mathematical researches the autobalancing device with several tanks is taken. The forces scheme is provided in article operating in autobalancing multitank system. Data on influence of various factors on balancing accuracy, and as the main calculation features of multitank autobalance weights are provided. Results of the carried-out work show that efficiency of automatic balancing increases with growth of tanks number. Critical rotor rotation frequency decreases with growth of tanks number.**

Key words: the automatic balancing device, the rotor rotation, being self-aligned system, rotor deflection, modeling.

### Введение

Известные автобалансирующие устройства (АБУ) достаточно эффективно уменьшают режимное изменение дисбаланса ротора. Однако такая результативность достигается за счет использования тяжелой жидкости (ртути) в качестве корректирующей массы. При разработке машин и приборов стремятся избегать использования высокотоксичных веществ. Имеющиеся нетоксичные жидкости обладают плотностью не более 2 г/см<sup>3</sup>, поэтому использование их в качестве корректирующей массы в жидкостных АБУ, вместо ртути, ведет к снижению эффективности автоматической балансировки ротора [4, 5]. Именно из-за недостаточной эффективности жидкостных АБУ, обусловленной малой плотностью жидкости, факторы, влияющие на точность балансировки, были слабо освещены. На кафедре ТПМ ТПУ было разработано устройство [1], позволяющее многократно повышать эффективность автоматической балансировки роторов с помощью жидкостных АБУ. В связи с этим возникла необходимость исследования различных факторов, которые влияют на точность балансировки.

## Материал и методы исследования

Как уже было показано (рис. 1), в жидкостном автобалансирующем устройстве участвует в процессе балансировки только часть жидкости внутренней поверхностью резервуара и цилиндрической поверхностью, касающейся поверхности резервуара и имеющей ось, совпадающую с осью ротора. Масса этой жидкости удовлетворяет граничному значению в условии ее достаточности, т.е. при заданном значении прогиба вала свободная поверхность жидкости касается внутренней поверхности резервуара.

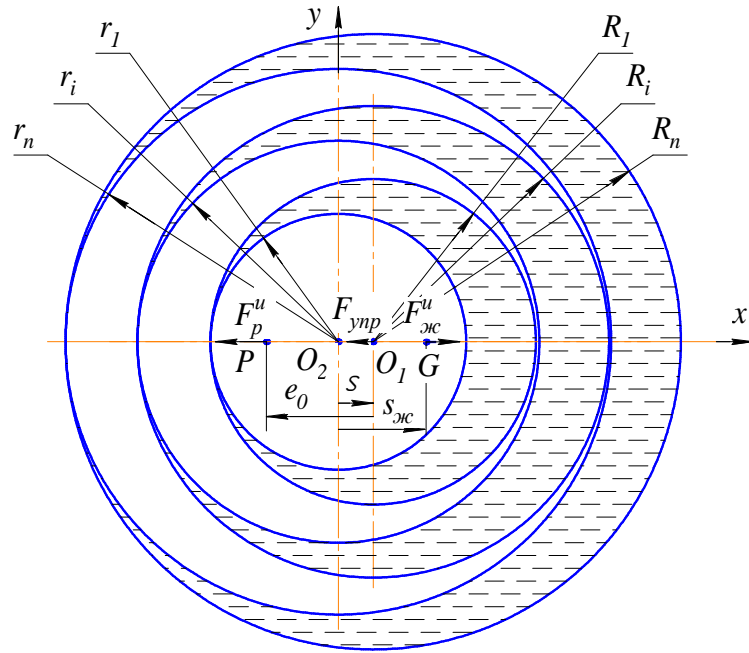


Рис. 1. Схема сил в многорезервуарном устройстве

Остальная часть жидкости в процессе балансировки не участвует. На основе этого было предложено автоматическое балансирующее устройство с несколькими концентрическими резервуарами, оси внутренних цилиндрических поверхностей которых совпадают с осью ротора. Это устройство будем в дальнейшем называть многокамерным устройством [3]. Работает многорезервуарное автобалансирующее устройство подобно жидкостному АБУ с одним резервуаром. Проанализируем его работу.

## Результаты исследования и их обсуждение

Пусть ротор имеет статический дисбаланс (рис. 1), т.е. центр масс ротора (точка  $P$ ) смещен относительно оси ротора (в проекции точка  $O_1$ ) на величину  $e_0$ . При вращении ротора с постоянной частотой  $\omega$ , превышающей критическую, происходит прогиб оси вала ротора таким образом, что выполняется равенство сил, действующих на систему:

$$\sum \bar{F} = \bar{F}_{ynp} + \bar{F}_p^u + \bar{F}_1^u + \dots + \bar{F}_i^u + \dots + \bar{F}_n^u = 0$$

или в проекциях на ось  $x$ :

$$-F_{упр} - F_p^u + F_1^u + \dots + F_i^u + \dots + F_n^u = 0, \quad (1)$$

где:  $F_i^u = m_i \omega^2 s_i$  – сила инерции жидкости в  $i$ -том резервуаре, приложенная к ее центру масс;

$m_i = \rho \pi h (R_i^2 - r_i^2)$  – масса жидкости в  $i$ -том резервуаре в соответствии с условием ее достаточности;

$s_i = s \frac{R_i^2}{(R_i^2 - r_i^2)}$  – расстояние от оси вращения ротора до центра масс жидкости для  $i$ -того резервуара;

$R_i, r_i$  – радиус внутренней поверхности резервуара и радиус свободной поверхности жидкости для  $i$ -того резервуара;

$n$  – число резервуаров.

Условие достаточности жидкости в многорезервуарном устройстве отличается от аналогичного условия в жидкостном АБУ с одним резервуаром. В многорезервуарном устройстве условие достаточности жидкости выполняется, если свободная поверхность жидкости в  $i$ -том резервуаре не пересекается с внутренними цилиндрическими поверхностями этого резервуара, образованными цилиндрическими перегородками [6, 7]. Поэтому условие достаточности жидкости в многорезервуарном устройстве имеет вид:

$$R_i - r_i \geq s; \quad r_i - (R_{i+1} + \delta) \geq s, \quad (2)$$

где  $\delta$  – толщина стенки цилиндрической перегородки.

Учитывая условие достаточности жидкости (2), определяем из уравнения амплитуды колебаний ротора при балансировке его с помощью многорезервуарного устройства:

$$s = \frac{e_0 m \omega^2}{(m + \rho \pi h \sum_{i=1}^n R_i^2) \omega^2 - c}. \quad (3)$$

Отсюда видно, что в отличие от жидкостного АБУ с одним резервуаром, в многорезервуарном устройстве амплитуда колебаний ротора тем меньше, чем больше число резервуаров и чем больше радиусы их внутренних поверхностей. Эта амплитуда колебаний не зависит от массы жидкости в камере при выполнении условия ее достаточности (2).

Используя выражение (3) для многорезервуарного автобалансирующего устройства, можно получить выражения для определения критической частоты вращения ротора и эффективности автоматической балансировки:

$$\omega_k = \sqrt{\frac{c}{m + k\rho\pi h \sum_{i=1}^n R_i^2}}; \quad (4)$$

$$E_e = \frac{m + \rho\pi h \sum_{i=1}^n R_i^2}{m} = 1 + \frac{\rho\pi h \sum_{i=1}^n R_i^2}{m}. \quad (5)$$

### Выводы

Результаты проведенной работы показывают, что эффективность автоматической балансировки увеличивается с ростом числа резервуаров. Критическая частота вращения ротора уменьшается с ростом числа резервуаров.

### Список литературы

1. Автобалансирующее устройство: А.с. 1795319 СССР, МКИ G 01M 1/38 / Г.Б. Филимоныхин (СССР). – № 4770688/28, заявл. 09.11.89; опубл. 15.02.93, Бюл. № 6.
2. Агафонов Ю. В. Динамика шарикового автобалансира в поле направленных сил // Машиноведение. – 1987. – № 1. – С. 115–117.
3. А.с. 1128129 СССР, МКИЗ G01M1/38. Устройство для автоматической балансировки роторов / В. П. Нестеренко, А. П. Соколов, В. М. Замятин, Д. В. Лычагин (СССР). – № 3543157/25-28; заявлено 12.01.83; опубл. 07.12.84, Бюл. № 45.
4. Зиякаев Г. Р., Саруев Л. А., Мартюшев Н. В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий. – 2010. – № 6.3 (13) – С. 61-65.
5. Мартюшев Н. В. Расчет параметров структуры материалов с помощью программных средств // В мире научных открытий. – 2011. – № 1, Серия "Математика. Механика. Информатика". – С. 77-82.
6. Пашков Е. Н., Дубовик В. А. Stationary rotation stability of unbalanced rotor with autobalancing device with liquid on a flexible shaft // Известия ТПУ. – 2007. – № 2. – Т. 311. – С. 12-13.
7. Пашков Е. Н., Саруев Л. А., Зиякаев Г. Р. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 5 – С. 26-31.
8. Рубановский В. Н., Самсонов В. А. Устойчивость стационарных движений в примерах и задачах: Учеб. пособие для вузов. – М.: Наука, гл. ред. физ. мат. лит., 1988. – 304 с.

### Рецензенты:

Тарасов Сергей Юльевич, д.ф.-м.н., с.н.с. ИФПМ СО РАН, г. Томск.

Пушкарев Александр Иванович, д.ф.-м.н., сотрудник ООО «Инженерно-физический центр», г.Томск.