



ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА РАДИАЛЬНО-ПОРШНЕВОЙ ГИДРОМАШИНЫ

В статье проведен динамический анализ механизма радиально-поршневой гидромашины, в которой за основу взят кулисный механизм с плоской направляющей, а движение от эксцентрика вала к поршням передается через обойму, выполненную в виде многогранника и совершающую сканирующее плоскопараллельное движение. На основе анализа сил и крутящих моментов установлено, что заданным внешним воздействием на звездочку является только совокупность сил, действующих на грани со стороны плунжеров, обеспечивающая стационарный режим, остальные силы устанавливаются при этом автоматически.

Радиально-поршневая гидромашина, механизм привода поршней, обойма, палец, кольцо, сила, момент.

В машиностроении и, в частности, в металлорежущих станках получили широкое применение радиально-поршневые гидравлические машины с клапанным распределением жидкости, которые позволяют создавать высокое давление и за счет этого обеспечить необходимые технические характеристики привода при минимальных габаритных размерах и массе.

Рассматривается конструкция радиально-поршневой гидромашины, в которой за основу взят кулисный механизм с плоской направляющей. Дви-

жение от эксцентрика вала передается к поршням через обойму, выполненную в виде многогранника и совершающую сканирующее плоскопараллельное движение [1, 2]. В работе [3] описано устройство и принцип действия этого механизма, а также произведен геометрический и кинематический анализ движения обоймы и вала. Вместе с тем, не исследованы динамические характеристики.

Оптимальный вариант места крепления пальцев представлен на рисунке 1.

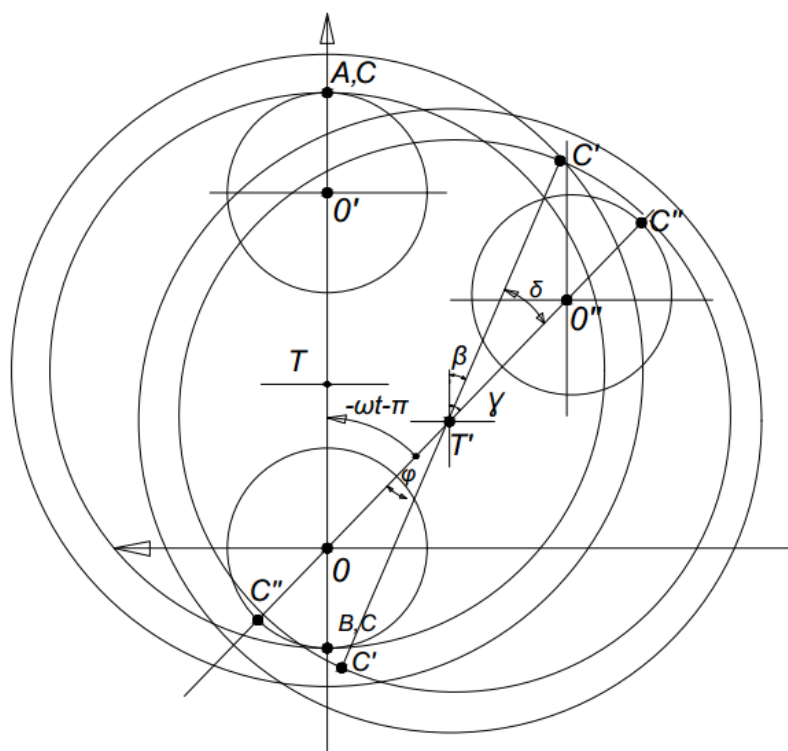


Рис. 1. К динамическому анализу крепления: φ – угол поворота; ω – угловая скорость; t – время; O – центр пальца, закрепленного в корпусе; O' , O'' – центры пальцев, закрепленных в звездочке

Рассмотрим равномерное вращение вала: $\varphi(t)=\omega t, \varphi_0=0$. Пусть положение OO' имеет некоторую начальную фазу α_0 , T совпадает с центром масс кольца; координаты O в основной системе, связанной с корпусом, есть $O(a, b)$.

Движение должно происходить без проскальзывания в механизме сканирующего движения звездочки, т.е. предполагается точное совпадение $L = \varepsilon$, $R = L - 2r$. Подвижная система связана с центром кольца и всегда параллельна основной системе, тогда β – угол поворота кольца в подвижной системе (отметки $CC, C'C'$ и т.д. неподвижно связаны с кольцом, C' – новое положение старых точек контакта, C'' – новые точки контакта).

Траектория центра масс кольца (в основной системе) может быть описана уравнениями:

$$X_T = a + \frac{\varepsilon}{2} \cos(-\omega t - \pi + \alpha_0);$$

$$Y_T = b + \frac{\varepsilon}{2} \sin(-\omega t - \pi + \alpha_0),$$

откуда

$$\ddot{X}_T = -\frac{\varepsilon\omega}{2} \cos(-\omega t - \pi + \alpha_0);$$

$$\ddot{Y}_T = -\frac{\varepsilon\omega}{2} \sin(-\omega t - \pi + \alpha_0).$$

Тогда проекции на оси основной системы главного вектора сил, действующих на кольцо, получаются из соотношений

$$\sum F_{xi} = -m \frac{\varepsilon\omega^2}{2} \cos(-\omega t - \pi + \alpha_0);$$

$$\sum F_{yi} = -m \frac{\varepsilon\omega^2}{2} \sin(-\omega t - \pi + \alpha_0),$$

где m – масса кольца.

Угол поворота кольца вокруг центра масс:

$$\beta = \gamma - \delta = -\omega t - \pi - \frac{\tau}{R}(-\omega t - \pi)$$

$$= (\omega t + \pi) \left(\frac{\tau}{R} - 1 \right).$$

Главный момент сил, действующих на кольцо,

$$\sum_{\text{момТ}} \overline{F'_i} = J \frac{d^2\beta}{dt^2},$$

и очевидно, что $\sum_{\text{момТ}} \overline{F'_i} = 0$ при $\omega = \text{const}$.

Здесь J – момент инерции кольца относительно его центра.

Рассмотрим систему сил, действующих на звездочку со стороны плунжеров (на ее грани), в узлах крепления (на пальцы, заделанные в звездочку) и реакцию вала (силы трения, возникающие в подшипниках качения, не учитываются) (рис. 2, 3). При стационарном режиме ($\omega = \text{const}$), как показывает анализ, момент сил, действующих на звездочку, равен нулю, а сила, действующая на центр масс звездочки, направлена вдоль OC (O – центр масс, C – центр вращения вала) и равна $m\varepsilon\omega^2$. Здесь m – масса звездочки. Силы, действующие на пальцы, направлены вдоль CO .

Считается, что пальцы расположены строго симметрично, т.е. если K – число граней, n – номер грани, на палец, связанный с гранью, действует периодическая одинаковая для всех граней сила (основной период $\frac{2\pi}{\omega}$) со сдвигом фазы для пальца $n - n\frac{2\pi}{K}$. То же самое предполагается и для сил, действующих на грани со стороны плунжеров: они периодические с основным периодом $\frac{2\pi}{\omega}$; одинаков и сдвиг фазы на грани $n = 0$ и $n = K-1$.

Грани занумерованы от $n = 0$ до $n = K-1$, отсчет углов ведется от линии OB , соединяющей центр масс O и общую для граней $n = 0$ и $n = K-1$ вершину B . Положение звездочки задается углом между OB и OC , равным $\omega t + \beta$, где β – начальная фаза, связанная с выбором отсчета.

Тогда силы, действующие на пальцы, имеют представление Фурье:

$$F_n = A + \sum_{p=1}^{\infty} (a_p \cos(p\omega t + pn\frac{2\pi}{K}) + bp \sin(p\omega t + pn\frac{2\pi}{K})), \quad (1)$$

силы, действующие на грани:

$$\Phi_n = B + \sum_{p=1}^{\infty} (A_p \cos(p\omega t + pn\frac{2\pi}{K}) + Bp \sin(p\omega t + pn\frac{2\pi}{K})), \quad (2)$$

где A, B – некоторые постоянные компоненты сил.

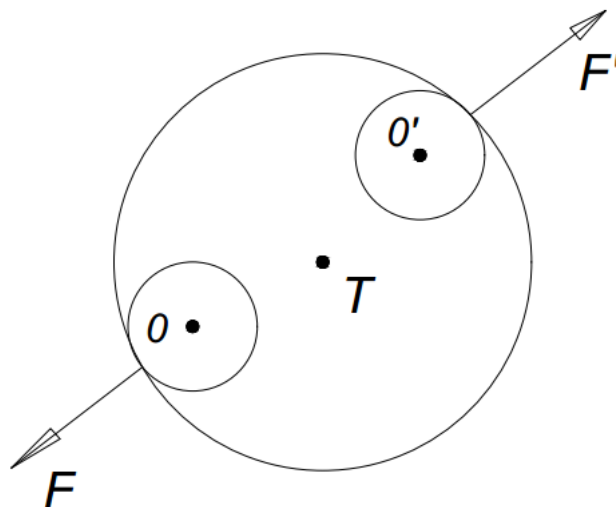


Рис. 2. Схема сил, действующих на кольцо

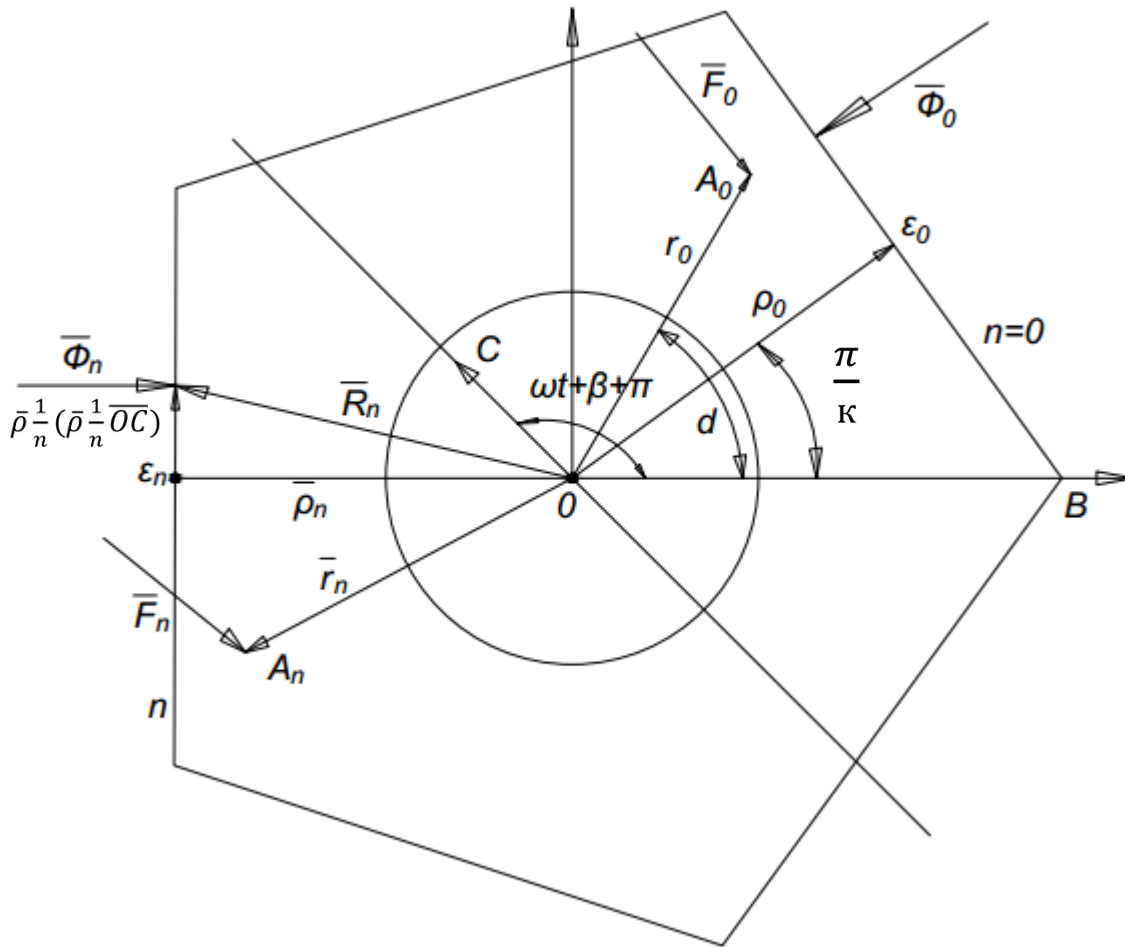


Рис. 3. Схема сил, действующих на звездочку

Вычислим моменты сил относительно центра масс:

$$\bar{M}n_1 = [r_n \bar{F}_n] \text{ и } \bar{M}n_2 = [R_n \bar{\Phi}_n].$$

Из (1) и (2) следует:

$$\bar{M}n_1 = LF_n \sin(\omega t + \beta - n \frac{2\pi}{K} - \frac{\pi}{K}) \{0; 0,1\}. \quad (3)$$

т.е. момент сил направлен перпендикулярно плоскости звездочки.

$$\bar{M}n_2 = -\varepsilon \Phi_n \sin(\omega t + \beta - n \frac{2\pi}{K} - \frac{\pi}{K}) \{0; 0,1\}. \quad (4)$$

Должно выполняться соотношение

$$\sum_{n=0}^{K-1} (\bar{M}n_1 + \bar{M}n_2) = 0.$$

Как указывалось, сила, действующая на центр масс, направлена по ОС и равна $m\varepsilon\omega^2$. С другой стороны, она есть сумма сил, действующих на пальцы

($\sum_{n=0}^{K-1} \bar{F}_n$) проекцией на ОС сил, действующих на грани ($\sum_{n=0}^{K-1} n\rho_0 \bar{\Phi}_n$), и реакции вала R, действующей также по ОС. Суммируя и проектируя соответствующие силы, получим в соответствии с изложенным:

$$KA \frac{K}{2} A_1 \cos\left(2\omega t + \beta - \frac{\pi}{k}\right) - \frac{k}{2} B_1 \sin\left(2\omega t + \beta - \frac{\pi}{k}\right) + R = M\varepsilon\omega^2. \quad (5)$$

Таким образом, можно считать, что заданным внешним воздействием на звездочку является только совокупность сил, действующих на грани со стороны плунжеров, обеспечивающая стационарный режим $\omega = \text{const}$; остальные силы устанавливаются при этом автоматически. Такой вывод не противоречит кинематике механизма.

Литература

1. Патент № 2722928 Российская Федерация, МКИ² F03 C 01/04. Радиально-поршневой гидромотор с клапанным распределением: 2019131574 : заявл. 07.10.19 : опубл. 08.06.2020 / Колпаков В. Н. ; заявитель ФГБОУВО «Вологодский государственный университет».
2. Авторское свидетельство № 885655 СССР, МКП⁴ F16 H 21/30 Передача для преобразования вращательного движения в сканирующее: № 2878809/25-06 : заявл. 18.12.1979 : опубл. 30.11.1981 / Евдокимов В. П., Колпаков В. Н., Куна В.С. [и др.] ; заявители: Вологодский политехнический институт, Ленинградский опытный завод гидроавтоматики.
3. Колпаков, В. Н. Кинематическое исследование механизма привода поршней радиально-поршневой

гидравлической машины / В. Н. Колпаков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования : мате-

риалы двадцатой Международной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГУ, 2019. – С. 53–57.

V.N. Kolpakov
Vologda State University

DYNAMIC ANALYSIS OF RADIAL PISTON HYDRAULIC MACHINE MECHANISM

The article presents a dynamic analysis of the mechanism of a radial piston hydraulic machine, in which a rocker mechanism with a flat guide is taken as a basis, and the movement from the shaft eccentric to the pistons is transmitted through a cage made in the form of a polyhedron and performing a scanning plane-parallel movement. Based on the analysis of forces and torques, it is established that the specified external effect on the sprocket is only a combination of forces acting on the face from the plungers and providing a stationary mode, the remaining forces are set automatically.

Radial piston hydraulic machine, piston drive mechanism, clip, finger, ring, force, moment.