

ОБОСНОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАЗОРОВ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ ВЫТЕСНИТЕЛЬНОЙ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМ ГИДРОВРАЩАТЕЛЯ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПА

Волошина А.А., д.т.н., доцент

Таврический государственный агротехнологический университет

Работа посвящена исследованию влияния зазоров между элементами вытеснительной и распределительной систем гидровращателя планетарного типа на его работоспособность.

Ключевые слова: *высокомоментный гидровращатель планетарного типа, вытеснительная система, распределительная система, радиальный зазор, торцевой зазор, течение рабочей жидкости.*

Постановка проблемы. Физические, динамические и гидравлические процессы, протекающие в гидроагрегатах и их элементах в процессе эксплуатации, связаны с движением рабочей жидкости в трубопроводах, по каналам с местными сопротивлениями, а также через рабочие окна и щели гидравлических машин и агрегатов (возникновение колебаний давления и расходов из-за сжимаемости рабочих жидкостей, воздействие потоков жидкостей на элементы гидроагрегатов и т.д.). Поэтому наряду с основными потоками рабочей жидкости, необходимых для функционирования гидравлической системы, возникают дополнительные течения в зазорах между деталями механизмов и узлами гидравлической аппаратуры.

В этой связи возникает важная научная проблема исследования влияния гидравлических, гидродинамических и механических процессов, протекающих в вытеснительной и распределительной системах гидровращателя планетарного типа на его работоспособность.

Возможность реализации поставленной научной проблемы открывается при системном подходе, когда конструкция основных узлов, законы движения элементов вытеснительной и распределительной систем, течение рабочей жидкости в проточных частях распределительной системы, процесс заполнения рабочей жидкостью рабочих камер вытеснительной системы, гидравлические, гидродинамические и механические процессы исследуются как единое целое.

Анализ последних исследований. Физические, динамические и гидравлические процессы, протекающие в гидроагрегатах и их элементах [1-8] в процессе эксплуатации, связаны с движением рабочей жидкости в трубопроводах, по каналам с местными сопротивлениями, а также через рабочие окна и щели гидравлических машин и агрегатов (возникновение колебаний давления и расходов из-за сжимаемости рабочих жидкостей, воздействие потоков жидкостей на элементы гидроагрегатов и т.д.) [4].

Поэтому наряду с основными потоками рабочей жидкости,

необходимых для функционирования гидравлической системы, возникают дополнительные течения в зазорах между деталями механизмов и узлами гидравлической аппаратуры.

Анализ конструктивных особенностей гидровращателей планетарного типа показал, что в этих гидромашинах вытеснительная и распределительная системы выполнены так, что элементы вытеснительной системы одновременно являются элементами распределительной системы.

Цель работы. Обеспечение работоспособности гидровращателя планетарного типа путем исследования величины зазоров между элементами вытеснительной и распределительной систем.

Результат исследований. Учитывая специфическую конструкцию гидровращателя планетарного типа определено, что торцевые утечки в исследуемой конструкции практически отсутствуют, поэтому в гидровращателе отсутствует и дренажная магистраль. Необходимо отметить, что шестерня не имеет никаких жестких кинематических связей с направляющей и поэтому при работе самоустанавливается. Таким образом, перетечки через радиальный зазор, образованный вытеснительными элементами гидровращателя планетарного типа, отсутствуют.

При определении давления и перетечек в торцевом зазоре, рассматривалось течение рабочей жидкости между вращающейся шестерней и неподвижными крышками. Считается, что течение в тонкой пленке зазора является стационарным ламинарным течением несжимаемой жидкости.

Известно, что давление рабочей жидкости между контактирующими поверхностями шестерни и крышек определяется суммой статического и динамического усилий. При этом статическое давление создает значительную часть уравнивающей силы, а динамическая составляющая давления усиливает действие уравнивающей силы, действующей в зазоре между торцевыми поверхностями шестерни и крышек.

При расчетах непосредственного распределения рабочей жидкости гидровращателях планетарного типа, основную трудность представляет определение перетечек через торцевой зазор образованный вытеснительными и распределительными элементами гидровращателя, а так же определение величины давления рабочей жидкости, в этом зазоре, значение которого зависит от ряда конструктивных и технологических факторов (точности изготовления элементов вытеснительной и распределительной систем, качества рабочей жидкости и др.). Поэтому определение и нормирование торцевых зазоров в вытеснительных и распределительных элементах планетарного гидровращателя является неотъемлемой составляющей в общей цепочке факторов требующих проведения теоретических исследований.

Взяв за основу методики [9-14] определим расход рабочей жидкости через торцевой зазор и давление, действующее в нем рассмотрев течение рабочей жидкости в зазоре высотой h , образованном двумя параллельными поверхностями крышек 1 и шестерни 3 (рис. 1).

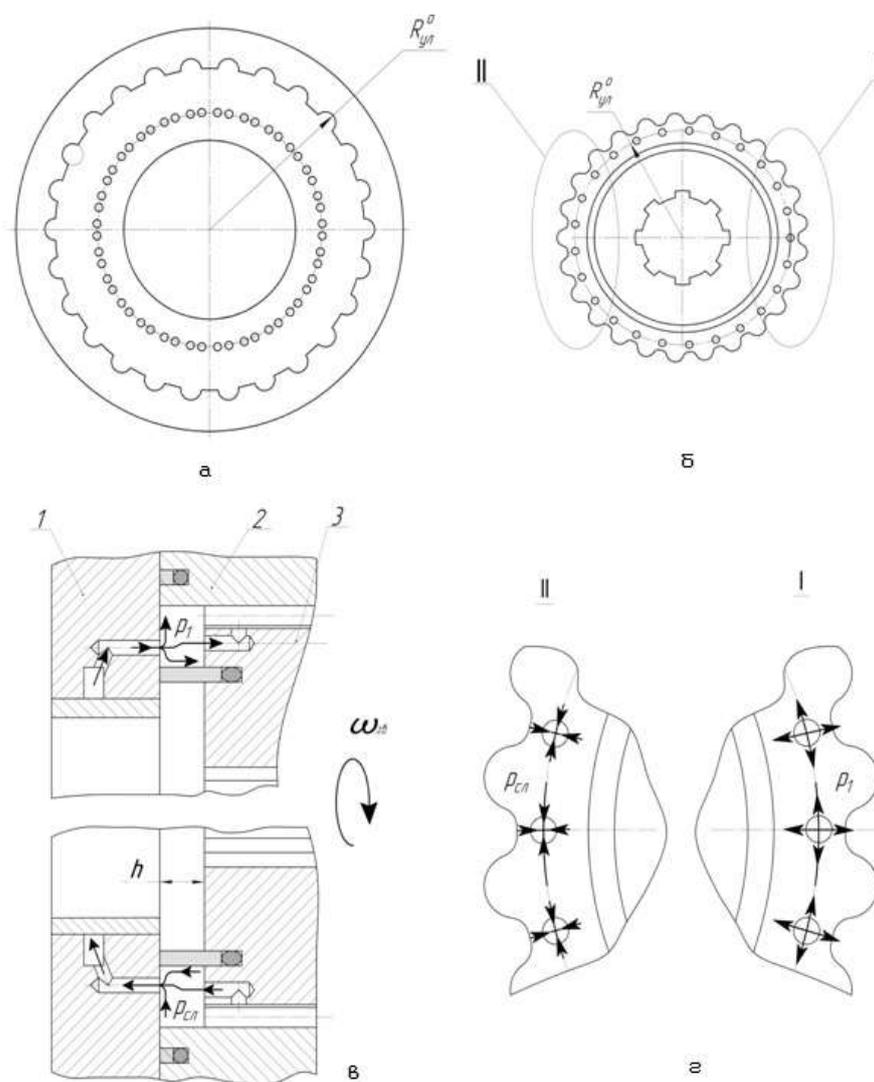


Рис. 1. Расчетная схема определения течения рабочей жидкости в зазоре, образованном: 1 – крышками, 2 – направляющей и 3 – шестерней

На рис. 1, а представлены торцевая поверхность одной из крышек 1 гидровращателя планетарного типа и торцевая поверхность шестерни 3 (рис. 1, б), выполняющие роль распределительного устройства. Причем, количество распределительных окон шестерни в двое меньше, чем количество окон крышки. На рис. 1, в и рис. 1, г изображены схемы движения рабочей жидкости в торцевом зазоре планетарного гидровращателя, образованном торцевыми поверхностями шестерни и крышек.

Рассмотрим течение рабочей жидкости между торцевыми поверхностями крышек, которые неподвижны и торцевой поверхностью шестерни, совершает возвратно-поступательное движение со скоростью $\frac{dh}{dt}$ в своей плоскости (рис. 1).

Считаем, что течение в тонкой пленке зазора по кольцу, ограниченному внутренним радиусом R_n^0 направляющей и внешним

радиусом уплотнения R_{yn}^0 (Рис. 1) является стационарным ламинарным течением несжимаемой жидкости. Принимаем составляющую скорости вдоль оси равной $v_z = 0$, по окружности – $v_\varphi = 0$, в направлении радиуса – $v_r = v(r, z, t)$.

Для расчета течений рабочей жидкости в зазорах между торцевыми поверхностями элементов вытеснительной и распределительной систем гидровращателя используем известные уравнения движения несжимаемой вязкой жидкости, уравнение энергии и уравнения сплошности [12,13].

С учетом принятых допущений уравнения движения, энергии и сплошности примут вид:

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} = \nu \left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_r}{r^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2} \right) - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial r}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \varphi} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = 0; \quad (3)$$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r}(r \cdot v) \pm \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{dh}{dt} \right) = 0, \quad (4)$$

где $\frac{\partial v_r}{\partial t}$ – локальная составляющая ускорения, учитывающая

неустановившийся характер течения рабочей жидкости;

v_r – скорость потока рабочей жидкости;

ρ – плотность рабочей жидкости;

ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости;

p – давление рабочей жидкости;

t – время.

Обозначим через R_{cp} радиус, на котором давление жидкости между плоскостями, возникающее за счет скорости $\frac{dh}{dt}$ и ускорения $\frac{d^2h}{dt^2}$, имеет экстремальное значение.

Из условия постоянства расхода жидкости [13] через внешний и внутренний радиусы получим

$$R_{cp} = \sqrt{\frac{R_{yn}^{0\ 2} + R_n^{0\ 2}}{2}}, \quad (5)$$

а из условий сохранения массы, рассматривая процесс, как квазистатический

$$\left| v_r \right|_{cp} = \frac{(R_{cp}^2 - r^2) dh}{2r \cdot h dt}. \quad (6)$$

Используя уравнение (6) для замены в выражении (1) v_r , $\frac{\partial v_r}{\partial t}$, $\frac{\partial v_r}{\partial r}$ и

$\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2}$ получим

$$\frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} = \frac{1}{v} \left[\frac{d^2 h}{dt^2} \left(\frac{R_{cp}^2}{2r \cdot h} - \frac{r}{2h} \right) - \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_{cp}^4}{2r^3 \cdot h^2} + \frac{R_{cp}^2}{2r \cdot h^2} - \frac{r}{h^2} \right) + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dr} \right]. \quad (7)$$

$$\text{Граничные условия: } v_r = 0 \text{ при } z = 0 \text{ и } z = h. \quad (8)$$

После интегрирования уравнения (7) будем иметь

$$v_r = \frac{(z^2 - h \cdot z)}{2} \cdot \left\{ \frac{1}{v} \frac{d^2 h}{dt^2} \cdot \left(\frac{R_{cp}^2}{2r \cdot h} - \frac{r}{2h} \right) - \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_{cp}^4}{2r^3 \cdot h^2} + \frac{R_{cp}^2}{2r \cdot h^2} - \frac{r}{h^2} \right) + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dr} \right\}. \quad (9)$$

Из условий сохранения массы следует

$$-\pi \cdot (R_{cp}^2 - r^2) \frac{dh}{dt} = \int_0^h 2\pi \cdot r \cdot v_r \cdot dz. \quad (10)$$

Подставив в это уравнение значение v_r из выражения (9) и проинтегрировав, получим

$$\frac{dh}{dt} \frac{(R_{cp}^2 - r^2)}{2r} = \frac{h^3}{12} \cdot \frac{1}{v} \left[\frac{d^2 h}{dt^2} \cdot \left(\frac{R_{cp}^2}{2r \cdot h} - \frac{r}{2h} \right) - \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_{cp}^4}{2r^3 \cdot h^2} + \frac{R_{cp}^2}{2r \cdot h^2} - \frac{r}{h^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dz} \right) \right]. \quad (11)$$

Откуда

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dr} = \mu & \left[\frac{6(R_{cp}^2 - r^2)}{r \cdot h^3} \cdot \frac{dh}{dt} \right] - \rho \left[\frac{d^2 h}{dt^2} \cdot \left(\frac{R_{cp}^2}{2r \cdot h} - \frac{r}{2h} \right) + \right. \\ & \left. + \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_{cp}^4}{2r^3 \cdot h^2} + \frac{R_{cp}^2}{2r \cdot h^2} - \frac{r}{h^2} \right) \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Подставляя уравнение (12) в выражение (9) будем иметь

$$v_r = \frac{3(R_{cp}^2 - r^2)}{r \cdot h^3} \cdot (z^2 - h \cdot z) \frac{dh}{dt}. \quad (13)$$

Теперь, используя равенство (13) для замены v_r , $\frac{\partial v_r}{\partial t}$, $\frac{\partial v_r}{\partial r}$ и $\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2}$ в

уравнении (1), получим его в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} = \frac{1}{v} & \left[\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} + \frac{9r \cdot z^4}{h^6} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 - \frac{18r \cdot z^3}{h^5} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right) \pm \frac{3r \cdot z^2}{h^3} \cdot \frac{d^2 h}{dt^2} \mp \frac{3r \cdot z}{h^2} \cdot \frac{d^2 h}{dt^2} + \right. \\ & + \frac{6r \cdot z}{h^3} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \mp \frac{3R_{cp}^2 \cdot z^2}{h^3} \cdot \frac{d^2 h}{dt^2} - \frac{9R_{cp}^4 \cdot z^4}{h^6 \cdot z^3} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 + \frac{18R_{cp}^4 \cdot z^3}{h^5 \cdot z^3} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \mp \\ & \left. \mp \frac{3R_{cp}^2 \cdot z}{h^2 \cdot r} \cdot \frac{d^2 h}{dt^2} + \frac{9R_{cp}^2 \cdot z^2}{h^4 \cdot r} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 - \frac{9R_{cp}^4 \cdot z^2}{h^4 \cdot r^3} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 - \frac{6R_{cp}^2 \cdot z}{h^3 \cdot r} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Проинтегрировав уравнение (14) с учетом граничных условий (8), получим выражение для v_r ,

$$\begin{aligned}
v_r = \frac{1}{v} & \left[\frac{1}{2\rho} \cdot \frac{dp}{dr} \cdot (z^2 - h \cdot z) + \frac{3r}{10s^6} \cdot (z^6 - h^5 \cdot z) \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 - \frac{9r \cdot (z^5 - h^4 \cdot z)}{10h^5} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \mp \right. \\
& \mp \frac{r \cdot (z^4 - h^3 \cdot z)}{4h^3} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \mp \frac{r \cdot (z^3 - h^2 \cdot z)}{2h^2} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} + \frac{r \cdot (z^3 - h^2 \cdot z)}{h^3} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \mp \\
& \mp \frac{R_{cp}^2 \cdot (z^4 - h^3 \cdot z)}{4s^3 \cdot r} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} - \frac{3R_{cp}^4 \cdot (z^6 - h^5 \cdot z)}{10h^6 \cdot r^3} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 + \frac{9R_{cp}^4 \cdot (z^5 - h^4 \cdot z)}{10h^5 \cdot r^3} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \pm \\
& \pm \frac{R_{cp}^2 \cdot (z^3 - h^2 \cdot z)}{2h^2 \cdot r} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} + \frac{3R_{cp}^2 \cdot (z^4 - h^3 \cdot z)}{4h^4 \cdot r} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 - \frac{3R_{cp}^4 \cdot (z^4 - h^3 \cdot z)}{4h^4 \cdot r^3} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 - \\
& \left. - \frac{R_{cp}^2 \cdot (z^3 - h^2 \cdot z)}{h^3 \cdot r} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \right]. \quad (15)
\end{aligned}$$

Интегрируя обе части уравнения (4) по z в пределах от 0 до h , получаем

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(\int_0^h r \cdot v_r dz \right) \pm \frac{dh}{dt} = 0. \quad (16)$$

После интегрирования этого уравнения по r будем иметь

$$\int_0^h r \cdot v_r dz = \pm \frac{r^2}{2} \cdot \frac{dh}{dt} + C, \quad (17)$$

где C – постоянная интегрирования.

Подставив в левую часть выражения (17) значение v из равенства (15) и вычислив интеграл, получим

$$\begin{aligned}
\pm \frac{r^2}{2} \cdot \frac{dh}{dt} + C = \frac{1}{v} & \left[-\frac{h^3}{12\rho} \cdot \frac{dp}{dr} - \frac{2r \cdot h}{35} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \pm \frac{r \cdot h^2}{20} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \mp \right. \\
& \mp \frac{R_{cp}^2 \cdot h^2}{20r} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} + \frac{9R_{cp}^4 \cdot h}{280r^3} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 + \left. \frac{R_{cp}^2 \cdot h}{40r} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \right], \quad (18)
\end{aligned}$$

откуда

$$\begin{aligned}
\frac{dp}{dr} = \rho & \left[-\frac{24r}{35h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \pm \frac{3r}{5h} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \mp \frac{3R_{cp}^2}{5h \cdot r} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} + \right. \\
& \left. + \frac{27R_{cp}^4}{40r^3 \cdot h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 + \frac{3R_{cp}^2}{10r \cdot h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \right] \mp \frac{6r \cdot \mu}{h^3} \cdot \frac{dh}{dt} - \frac{12\mu \cdot C}{r \cdot h^3}. \quad (19)
\end{aligned}$$

После интегрирования равенства (19) с учетом граничных условий:

Граничные условия для рассматриваемого случая:

$$\left. \begin{aligned} p &= p_{cl} \quad npu \quad r = R_{yn}^0 \\ p &= p_1 \quad npu \quad r = R_n^0 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

определим величину C

$$\begin{aligned}
C = & \frac{h^3}{12\mu} \cdot \frac{1}{\ln \frac{R_n^0}{R_{yn}^0}} \cdot \left\{ \rho \left[-\frac{12(R_n^{02} - R_{yn}^{02})}{35h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \pm \frac{3(R_n^{02} - R_{yn}^{02})}{10h} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \mp \right. \right. \\
& \mp \frac{3R_{cp}^2}{5h} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} - \frac{27R_{cp}^4}{140h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{R_n^{02}} - \frac{1}{R_{yn}^{02}}\right) + \frac{3R_{cp}^2}{10h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \cdot \frac{1}{\ln \frac{R_n^0}{R_{yn}^0}} - \\
& \left. \left. - (p_1 - p_{ca}) \right] \pm \frac{3\mu}{5h^3} \cdot \frac{dh}{dt} \cdot (R_n^{02} - R_{yn}^{02}) \right\}. \tag{21}
\end{aligned}$$

Подставив в уравнение (19) значение C получим

$$\begin{aligned}
\frac{dp}{dr} = & \rho \left[-\frac{24r}{35h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \pm \frac{3r}{5h} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \mp \frac{3R_{cp}^2}{5h \cdot r} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} + \frac{27R_{cp}^4}{70r^3 \cdot h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 + \frac{3R_{cp}^2}{10r \cdot h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \right] \mp \\
& \mp \frac{6r \cdot \mu}{h^3} \cdot \frac{dh}{dt} - \frac{\rho}{r \cdot \ln \frac{R_n^0}{R_{yn}^0}} \cdot \left[-\frac{12(R_n^{02} - R_{yn}^{02})}{35h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \pm \frac{3(R_n^{02} - R_{yn}^{02})}{10h} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \mp \frac{3R_{cp}^2}{5h} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} - \right. \\
& \left. - \frac{27R_{cp}^4}{140h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{R_n^{02}} - \frac{1}{R_{yn}^{02}}\right) + \frac{3R_{cp}^2}{10h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \cdot \ln \frac{R_n^0}{R_{yn}^0} - \frac{(p_1 - p_{ca})}{\rho} \mp \frac{3\nu}{h^3} \cdot \frac{dh}{dt} \cdot (R_n^{02} - R_{yn}^{02}) \right]. \tag{22}
\end{aligned}$$

Заменив в равенстве (15) $\frac{dp}{dr}$ его значением из выражения (22),

получим

$$\begin{aligned}
v_r = & \frac{1}{\nu} \left\{ \frac{(z^2 - h \cdot z)}{2} \left[-\frac{24r}{35h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \pm \frac{3r}{5h} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \mp \frac{3R_{cp}^2}{5h \cdot r} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} + \frac{27R_{cp}^4}{70r^3 \cdot h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 + \frac{3R_{cp}^2}{10r \cdot h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \right] \mp \frac{3r \cdot \nu}{h^3} \cdot \frac{dh}{dt} \cdot (z^2 - h \cdot z) - \right. \\
& - \frac{(z^2 - h \cdot z)}{2r \cdot \ln \frac{R_n^0}{R_{yn}^0}} \cdot \left[-\frac{12(R_n^{02} - R_{yn}^{02})}{35h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \pm \frac{3(R_n^{02} - R_{yn}^{02})}{10h} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \mp \frac{3R_{cp}^2}{5h} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} - \frac{27R_{cp}^4}{140h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{R_n^{02}} - \frac{1}{R_{yn}^{02}}\right) + \right. \\
& \left. + \frac{3R_{cp}^2}{10h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \cdot \ln \frac{R_n^0}{R_{yn}^0} - \frac{(p_1 - p_{ca})}{\rho} \mp \frac{3\nu}{h^3} \cdot \frac{dh}{dt} \cdot (R_n^{02} - R_{yn}^{02}) \right] + \frac{3r}{10h^6} \cdot (z^6 - h^5 \cdot z) \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 - \frac{9r}{10h^5} \cdot (z^5 - h^4 \cdot z) \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \mp \\
& \mp \frac{r \cdot (z^4 - h^3 \cdot z)}{4h^3} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \mp \frac{r \cdot (z^3 - h^2 \cdot z)}{2h^2} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} + \frac{r \cdot (z^3 - h^2 \cdot z)}{2h^2} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \mp \frac{R_{cp}^2 \cdot (z^4 - h^3 \cdot z)}{2h^3 \cdot z} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} - \frac{3R_{cp}^4 \cdot (z^6 - h^5 \cdot z)}{10h^6 \cdot r^3} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 + \\
& + \frac{9R_{cp}^4 \cdot (z^5 - h^4 \cdot z)}{10h^5 \cdot r^3} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \pm \frac{R_{cp}^2 \cdot (z^3 - h^2 \cdot z)}{2h^2 \cdot r} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} + \frac{3R_{cp}^2 \cdot (z^4 - h^3 \cdot z)}{4h^4 \cdot r} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 - \\
& \left. - \frac{3R_{cp}^4 \cdot (z^4 - h^3 \cdot z)}{4h^4 \cdot r^3} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 - \frac{R_{cp}^2 \cdot (z^3 - h^2 \cdot z)}{h^3 \cdot r} \cdot \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 \right\}. \tag{23}
\end{aligned}$$

Среднее значение скорости течения рабочей жидкости в зазоре, образованном торцевыми поверхностями крышек и шестерни

$$\begin{aligned}
v_{cp} = \frac{1}{h} \int_0^h v \, dh = \frac{1}{h \cdot v} \left\{ \pm \frac{r \cdot v}{2} \cdot \frac{dh}{dt} + \frac{1}{12r \cdot \ln \frac{R_n^0}{R_{yn}^0}} \cdot \left[- \frac{12h \cdot (R_n^{02} - r_1^2)}{35} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \pm \right. \right. \\
\pm \frac{3h^2 \cdot (R_n^{02} - R_{yn}^{02})}{10} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \mp \frac{3R_{cp}^2 \cdot h^2}{5} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} - \frac{27R_{cp}^4 \cdot h}{140} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{R_n^{02}} - \frac{1}{R_{yn}^{02}} \right) + \\
\left. \left. + \frac{3R_{cp}^2 \cdot h}{10} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \cdot \ln \frac{R_n^0}{R_{yn}^0} - \frac{h^3 \cdot (p_1 - p_{ca})}{\rho} \mp 3v \cdot \frac{dh}{dt} \cdot (R_n^{02} - R_{yn}^{02}) \right] \right\}. \quad (24)
\end{aligned}$$

Рабочая жидкость через каналы в крышках поступает в распределительные отверстия шестерни, а затем в рабочие камеры гидровращателя. Шестерня (выполняющая роль распределителя) движется между двумя крышками с равномерным (в результате уравнивания) зазором. Отработанная жидкость сливается аналогично в обратном порядке.

Таким образом, перетечки рабочей жидкости в торцевом зазоре гидровращателя можно определить выражениями:

$$\begin{aligned}
Q_{z6.n} = 2\pi \cdot r \cdot h \cdot v_{cp} = \frac{2\pi \cdot r}{v} \cdot \left\{ \pm \frac{r \cdot v}{2} \cdot \frac{dh}{dt} + \frac{1}{12r \cdot \ln \frac{R_n^0}{R_{yn}^0}} \cdot \left[- \frac{12h \cdot (R_n^{02} - R_{yn}^{02})}{35} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \pm \right. \right. \\
\pm \frac{3h^2 \cdot (R_n^{02} - R_{yn}^{02})}{10} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \mp \frac{3R_{cp}^2 \cdot h^2}{5} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} - \frac{27R_{cp}^4 \cdot h}{140} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{R_n^{02}} - \frac{1}{R_{yn}^{02}} \right) + \\
\left. \left. + \frac{3R_{cp}^2 \cdot h}{10} \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \cdot \ln \frac{R_n^0}{R_{yn}^0} - \frac{h^3 \cdot (p_1 - p_{ca})}{\rho} \mp 3v \cdot \frac{dh}{dt} \cdot (R_n^{02} - R_{yn}^{02}) \right] \right\}. \quad (25)
\end{aligned}$$

Решая уравнение (25) относительно p_1 , получим выражение для определения давления рабочей жидкости в торцевом зазоре вытеснительных элементов гидровращателя.

Поскольку дифференциальные уравнения, описывающие течение рабочей жидкости, являются линейными, то гидростатодинамическую задачу можно разделить на две [15]. Давление жидкости между поверхностями шестерни и крышек является суммой статического и динамического давлений. При этом статическое давление создает значительную часть уравнивающей силы, а динамическое поле давлений усиливает действие уравнивающей силы, действующей в зазоре между поверхностями шестерни и крышек.

Таким образом, проведенные теоретические исследования позволяют нормировать и обеспечить оптимальную величину торцевых зазоров, обеспечивающего работоспособность проектируемого гидровращателя планетарного типа.

Выводы. Математическое описание течения рабочей жидкости в зазорах между элементами вытеснительной и распределительной систем представляет собой систему дифференциальных, алгебраических, трансцендентных уравнений и неравенств, учитывает нелинейности, ограничения и погрешности моделируемых элементов, соответствующие физике их функционирования.

Проведенные теоретические исследования позволяют нормировать и обеспечить оптимальную величину торцевого зазора, обеспечивающего работоспособность проектируемого гидровращателя планетарного типа.

Список использованных источников

1. Зайончковський Г.Й. Оцінка динамічних властивостей гідромеханічних рульових слідкуючих приводів // Г.Й. Зайончковський / Гідравліка і пневматика, 2008. – № 1 (19). – С. 5-11.
2. Проектирование гидроагрегата с планетарным гидромотором с заданными выходными характеристиками // А.И. Панченко, В.Н. Кюрчев, А.А. Волошина, Г.И. Иванов / Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2007. – Вип. 7. – Т.4. – С. 9-23.
3. Результаты моделирования процесса перемещения жидкости в планетарных гидромашинах // А.И. Панченко, В.Н. Кюрчев, П.В. Обернихин / Труды Харьковского ДТУСГ. – Харьков, 1999.
4. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем: Учебник для вузов по специальностям «Гидропневмоавтоматика и гидропривод» и «Гидравлические машины и средства автоматизации». – 2-е изд., перераб. и доп. / Д.Н. Попов. – М.: Машиностроение, 1987. – 464 с.
5. Прокофьев В.Н. Аксиально-поршневой регулируемый гидропривод / В.Н. Прокофьев, Ю.А. Данилов, П.А. Кондаков и др. – М.: Машиностроение, 1969. – 312 с.
6. Струтинський В.Б. Імітаційне математичне моделювання дисипативних характеристик гідромеханічних систем // В.Б. Струтинський, О.В. Колот / Промислова гідравліка і пневматика, 2003. – №2. – С. 63-68.
7. Динамика планетарного гидромотора в составе гидроагрегата // А.И. Панченко, А.А. Волошина / Промислова гідравліка і пневматика, 2010. – №3(29). – С. 70-83.
8. Панченко А.І. Обґрунтування параметрів гідроприводів великої потужності для мобільної техніки // А.І. Панченко, А.А. Волошина, Г.І. Иванов, А.І. Засядько / Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2009. – Вип. 9. – Т.5. – С.47-54.
9. Визначення об'ємних витрат торцевої розподільної системи планетарної гідромашини // А.А. Волошина, С.В. Кюрчев, І.І. Мілаєва / Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2000. – Вип.2. – Т.17. – С. 95-102.
10. Скорость течения вязкой жидкости в постоянном зазоре узла поршень-цилиндр объемной гидромашини // З.Я. Лурье, И.Г. Лищенко / Вестник Харьковского государственного политехнического университета, 1999. – Вып.85. – С. 66-73.

11. Скорость течения вязкой жидкости в переменном по длине зазоре поршневой пары высокомоментного радиально-поршневого гидромотора многократного действия // З.Я. Лурье, И.Г. Лищенко / Вестник Харьковского государственного политехнического университета, 2000. – Вып.95. – С. 43-49.

12. Осипов А.Ф. Объемные гидравлические машины коловратного типа: теория, конструкция, проектирование / А.Ф. Осипов – М.: Машиностроение, 1971. – 208 с.

13. Осипов А.Ф. Объемные гидравлические машины: основы теории и расчет гидродинамических и тепловых процессов / А.Ф. Осипов. – М.: Машиностроение, 1966. – 160 с.

14. Панасенко С.М. Объемные потери торцового распределения аксиально-поршневой гидромашины гидропривода трансмиссии трактора // С.М. Панасенко / Сборник научных трудов Харьковского государственного технического университета сельского хозяйства. – Харьков, 1999. – С. 113-120.

15. Бажин И.И. Определение зазора и потерь мощности в гидростатических опорах поршневых насосов // И.И. Бажин, Л.А. Ищенко, А.Я. Оксененко / Вестник машиностроения, 1980. – №3. – С. 8-12.

Волошина А.А. Обґрунтування величина зазору між елементами витіснювальний і розподільчих систем гідровращателя планетарного типу

Робота присвячена дослідженню впливу зазорів між елементами витіснювальної і розподільної систем гідрообертача планетарного типу на його працездатність.

Ключові слова: високомоментного гідровращатель планетарного типу, витіснювальний система, розподільна система, радіальний зазор, торцевої зазор, протягом робочої рідини.

Voloshina A.A. Evaluation to the rational clearance between elements of displacing and distribution systems in planetary hydraulic rotors

The article describes results of research to evaluate the rational clearance between elements of displacing and distribution systems in planetary hydraulic rotors and its efficiency.

Keywords: high-torque gidrovraschatel planetary type, exclusion system, the distribution system, the radial clearance, end clearance, during the working fluid.