

УДК 624.2.0012

П.А. Андриенко (асп., каф. ТММ), А.В. Ащеулов, к.т.н., доц., В.А. Терешин, к.т.н., доц.

## О КОРРЕКТНОСТИ УРАВНЕНИЙ ГИДРАВЛИКИ В ПРИВОДАХ ТЯЖЕЛЫХ МАШИН

Среди всего многообразия существующих машин большую часть занимают машины с гидравлическим приводом. Сфера их использования огромна: это сельскохозяйственные и грузоподъемные машины, приводы летательных аппаратов и станков и т.д. В связи с этим большую ценность представляет математическое описание динамических процессов в гидроприводах машин. Этой теме посвящено множество работ отечественных ученых [1-3]. Наиболее универсальная модель гидропривода представлена в [2]. Однако, при всей простоте использования, особенно в расчетах на ЭВМ, она обладает рядом недостатков.

Получим уравнение золотника при неустановившемся режиме с учетом инерционных свойств столба жидкости. Записав уравнение Бернулли с учетом потерь напора по длине и изменения кинетической энергии жидкости, продифференцировав по времени выражение для скорости  $v_{оп1} = Q_1 / f_{оп}$ , получим выражение:

$$\dot{Q}_1 = \frac{g \cdot f_{оп} \cdot (p_1 - p_2)}{\gamma \cdot l} - \zeta \cdot \frac{Q_1 \cdot |Q_1|}{2 \cdot l \cdot f_{оп}} + \frac{\dot{f}_{оп}}{f_{оп}} \cdot Q_1,$$

где индексами «1» и «2» обозначены величины, относящиеся ко входу и выходу дросселя соответственно;  $p$  - гидростатическое давление в точке;  $f_{оп}$  - площадь сечения;  $\gamma$  - удельный вес жидкости;  $l$  - длина канала золотника;  $Q$  - объемный расход жидкости;  $\zeta$  - коэффициент потерь по длине. Заметим, что золотник считается абсолютно жесткой короткой трубой, а жидкость – несжимаемой. В [2] это уравнение приведено без последнего слагаемого.

Зависимость коэффициента гидравлического трения (коэффициента Дарси) -  $\lambda$  от числа Рейнольдса -  $Re$  согласно [2], хорошо описывается следующим уравнением:

$$\lambda = \begin{cases} \frac{a}{Re} & \text{при } Re \leq b - \text{ламинарный закон} \\ \frac{0,3164}{Re^{0,25}} & \text{при } Re > c - \text{турбулентный закон} \end{cases},$$

где  $a=75$ ,  $b=c=2300$ .

Очевидно, что  $Re = 2300$  - точка разрыва функции. При анализе графиков, полученных Никурадзе [3] в результате опытов по исследованию напорного движения жидкости в круглоцилиндрических трубах, имеющих «равнозернистую» шероховатость видно, что в области  $2300 \leq Re \leq 3000 \div 4000$  наблюдается неустойчивый режим. Здесь возможно существование как ламинарного, так и турбулентного движения [3]. Кроме того, коэффициент в числителе при ламинарном законе течения жидкости, определяется формой сечения трубы [3]. Так, круглому сечению соответствует значение 64, прямоугольному – 76. Примем закон изменения  $\lambda(Re)$  в вышеприведенном виде, при  $b=2300$ ,  $c=3500$ . Подберем аппроксимирующую его функцию с использованием метода построения асимптотических логарифмических амплитудно-частотных характеристик. Эта функция имеет вид:

$$\lambda = \frac{a}{Re} \cdot \left(1 + (Re/2300)^{k1}\right)^{n/k1} \cdot \left(1 + (Re/3500)^{k2}\right)^{-(n-0,75)/k2}$$

С помощью численных методов удалось определить минимальные значения  $k1$  и  $k2$ , при которых кривые различаются не более чем на 1,5%. Так, при  $a = 75$ ,  $k1 = 70$ ,  $k2 = 36$ ,  $n = 1,55$ ; при  $a = 64$ ,  $k1 = 88$ ,  $k2 = 53$ ,  $n = 1,93$ . Графики зависимостей приведены на рис. 1. Полученная аппроксимирующая функция непрерывна и хорошо согласуется с опытами Никурадзе.

Уравнение потерь в трубопроводе [2]:

$$p_1 - p_2 = \frac{\mu \cdot l}{4} \cdot [Q_1 + Q_2]^2,$$

не обладает свойством аддитивности для участков трубы. Устраним этот недостаток.

Пусть изменение расхода по длине трубопровода выражается зависимостью:

$$Q = \frac{Q_2 - Q_1}{l} \cdot x + Q_1,$$

где  $x$  - расстояние от начала трубы до рассматриваемой точки. Пусть уравнение потерь справедливо лишь на бесконечно малой длине трубопровода. Интегрируя его по длине, получим следующее выражение для перепада давления:

$$p_1 - p_2 = \frac{\mu \cdot l}{3} \cdot [Q_2^2 + Q_1^2 + Q_1 \cdot Q_2]$$

Решение данного уравнения практически совпадает с решением уравнения указанного выше, однако, позволяет исследовать отдельные участки трубопровода.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. – М.: Машиностроение, 1987. – 464с.
2. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ / Под ред. Е.Ю.Малиновского. – М.: Машиностроение, 1980. 216с.
3. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: Учеб для вузов. – В 2-х кн.: Кн. 1. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991.– 351с.

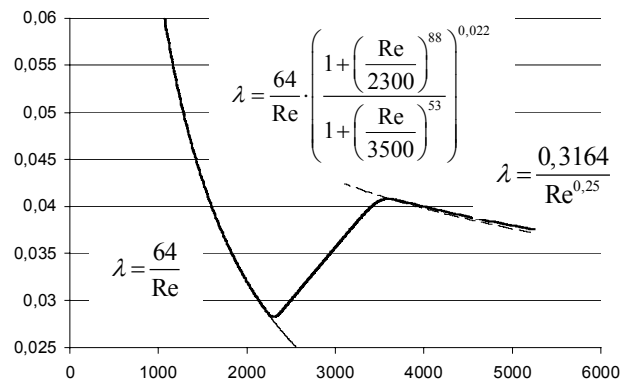


Рис. 1. График зависимости  $\lambda(Re)$ .