

В. П. Пурдик, к. т. н., доц.; М. Ю. Поздняков

СТЕНД ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Работа посвящена экспериментальной проверке динамических характеристик рукавов высокого давления. Статья содержит конструктивную схему экспериментальной установки на основе 3D-модели и описание проведения исследования, а также соотношения, которые позволяют определить значение основного динамического показателя – коэффициента податливости.

Ключевые слова: динамические характеристики, рукава высокого давления, динамический показатель, коэффициент податливости.

Введение

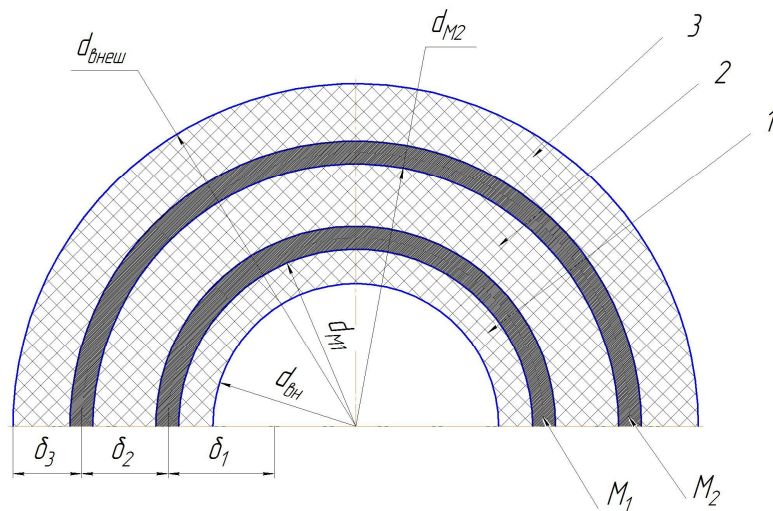
В современных условиях использования разнообразного технологического оборудования и машин с гидравликой широко используют гидравлические приводы, которым нет альтернативы по удельной мощности и диапазону регулирования. Практически в каждом из них, кроме металлических трубопроводов, используют и гибкие трубопроводы, особенно на подвижных исполнительных органах. В связи с этим динамические характеристики гибких трубопроводов влияют на динамику гидропривода в целом.

На сегодняшний день не существует единой эффективной методики определения динамических характеристик гибких трубопроводов, в первую очередь из-за сложности их структуры, которая представляет собой композит из ряда резиновых, тканевых и металлических слоев.

Для соединительных магистралей в гидроприводах машин различного назначения широко используют рукава высокого давления (РВД) [1, 2, 3]. По конструктивным параметрам РВД отличаются между собой. Эта разница заключается не только в количестве металлических или резиновых оплеток (рис. 1), но и в форме компоновки данных оплеток, в частности металлической. Ведь именно от этого параметра зависит направление деформации рукава. Например, если данная компоновка выполнена в виде спирали, то деформация в радиальном направлении будет незначительной, а в осевом – будет иметь значительную величину. При компоновке оплетки в виде сетки ситуация будет противоположной. Именно поэтому при создании данного стенда использовали датчики перемещения по двум направлениям.

При использовании РВД процесс аккумулирования энергии определяют эффектом сжатия рабочей жидкости и деформации внутренних полостей магистралей рукава, оценку которых удобно выполнять с помощью коэффициента податливости $K(p)$, который характеризует суммарное изменение единицы объема полости рукава и рабочей жидкости, соответствующее единичному изменению объема.

Для изучения динамики гидромеханизмов с РВД магистралями необходимо знать динамический коэффициент податливости $K_d(p)$, величина которого может быть определена в результате проведения эксперимента.



$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – соответствующие толщины слоёв;
 M_1, M_2 – металлические слои;
 $d_{M1}, d_{M2}, d_{M1}, d_{M2}$ – соответствующие диаметры оплётки;
1, 2, 3 – резиновые слои

Рис. 1. Физическая модель рукава высокого давления с двумя металлическими оплётками

3D-модель экспериментальной установки изображена на рис. 2. Исследуемый гибкий рукав 1 вмонтирован в специальный корпус 2 с помощью резьбового соединения.

В корпусе размещена плунжерная пара 3, плунжер которого кинематически связан с эксцентриком 4, который вращается аксиально-поршневым гидромотором 5 [4].

Гидромотор монтируют с помощью винтового соединения к пластине 6, а последнюю, в свою очередь, соединяют с уголком 7. Частоту вращения вала гидромотора вместе с эксцентриковым механизмом регулируют расходом регулируемого насоса НП-34 [5]. Опытный образец РВД поддерживается с помощью стоек 8, которые вместе с уголком монтируют на столе с Т-образными пазами 9.

В корпусе 2 выполнен специальный канал, который соединяется с гидролиниями насосной станции. Через него заполняют полость РВД рабочей жидкостью, чему предшествует удаление воздушной пробки из трубопровода с помощью специального крана 10.

В динамике давление в РВД (входящий сигнал) измеряют с помощью специального датчика давления 11.

Наружный диаметр РВД (перемещение в радиальном направлении) измеряют с помощью тензорезисторного датчика 12, который монтируют на траверсе 13, а перемещение плунжера и РВД в осевом направлении измеряют индуктивными датчиками перемещения 14, которые монтируют на специальных стойках 15.

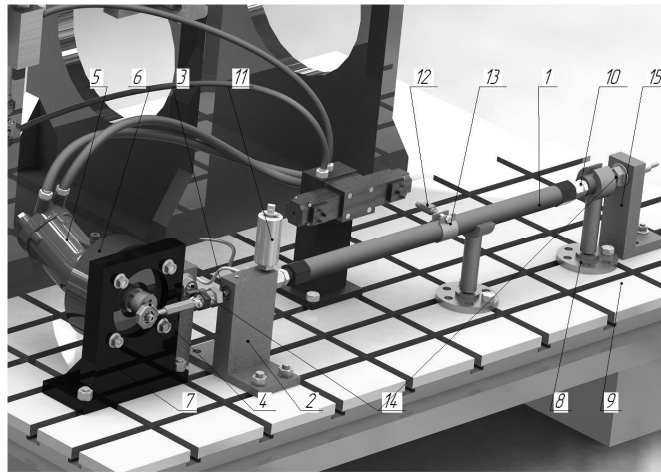


Рис. 2. 3D-модель стана для экспериментального исследования динамических характеристик РВД

Порядок определения частотных характеристик, статического и динамического коэффициента податливости РВД с рабочей жидкостью такой [6, 7, 8, 9]:

1. Жидкость подают на гидромотор 5 (в качестве рабочей жидкости используют минеральное масло АМГ-10 [10]), частоту вращения вала гидромотора регулируют расходом регулируемого насоса НП-34 в диапазоне 5 – 6000 об/мин и определяют амплитуду колебаний давления и внешнего диаметра РВД.

2. Определяют статический коэффициент податливости РВД по формуле

$$K(p) \approx \frac{\Delta W}{W_0 \Delta p},$$

где ΔW – изменение объема РВД, рассчитывают по перемещению плунжера; W_0 – начальный объем, известный из конструктивных параметров РВД; Δp – изменение давления во внутренней полости рукава (определяют с помощью датчика давления).

3. Изменяя подачу жидкости на гидромотор 5, последовательно измеряют амплитуду колебаний давления и внешнего диаметра РВД с различными значениями частоты колебаний плунжера и соответственно колебаний давления в РВД. Для компенсации возможного изменения амплитуды колебаний давления с изменением частоты f входного сигнала предусмотрена возможность регулировки эксцентриситета кулачка 9.

Амплитудно-частотную характеристику РВД определяют по формуле

$$A_{\Delta L}(f) = \frac{A_{\Delta p}(f) A_{\Delta d}(f) K_D(p)(f)}{2}, \quad (1)$$

где $A_{\Delta L}(f)$, $A_{\Delta p}(f)$, $A_{\Delta d}(f)$ – амплитуды колебаний наружного диаметра давления в РВД и перемещения плунжера с частотой входящего сигнала f ; $K(p)(f)$ – динамический коэффициент податливости в РВД.

Если $f \rightarrow 0$, то

$$A_{\Delta L_c} = \frac{A_{\Delta p_c} A_{\Delta d_{\text{внешн.}}} K(p)}{2}, \quad (2)$$

где $A_{\Delta L_c}$, $A_{\Delta p_c}$, $A_{\Delta d_{\text{внешн.}}}$ – амплитуды колебаний наружного диаметра давления в РВД и перемещения плунжера в статике.

Учитывая соотношение $A_{\Delta p}(f) = A_{\Delta p_c}$ (поддерживаются изменением эксцентриситета) и разделив (1) на (2), получим:

$$\frac{A_{\Delta L}(f)}{A_{\Delta L_c}} = \frac{A_{\Delta d_{внешн.}}(f)K_D(p)(f)}{A_{\Delta d_{внешн.}}(f)K(p)}. \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет определить величину динамического коэффициента податливости в процессе динамической нагрузки, учитывая при этом показатели датчиков и значение статического коэффициента податливости.

АЧХ РВД изображена на рис. 3.

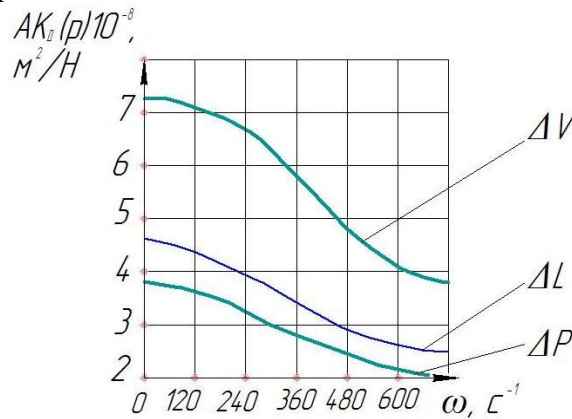


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика РВД

Пример переходных процессов в полости РВД показан на рис. 4, 5.

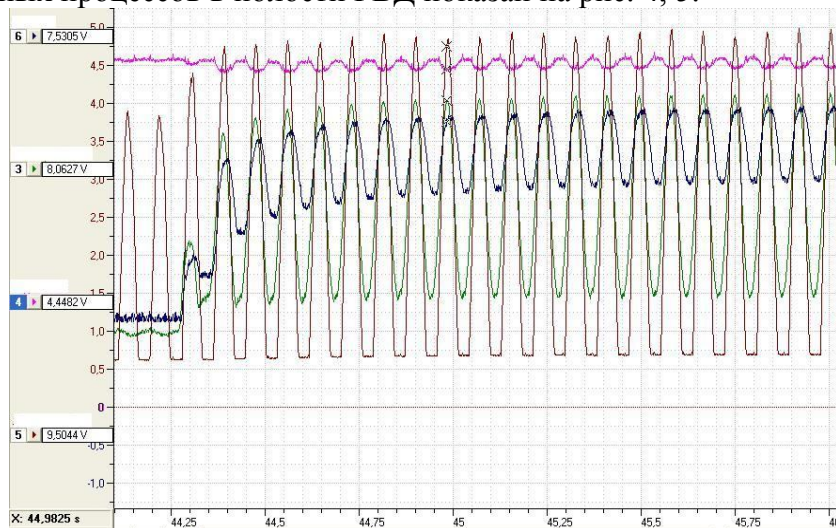


Рис. 4. Переходный процесс в полости РВД (частота входящего сигнала 8 Гц)

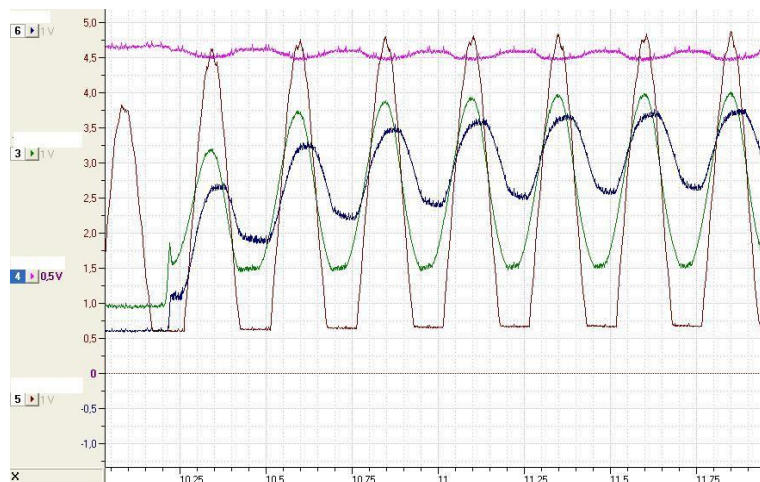


Рис. 5. Переходный процесс в полости РВД (частота входящего сигнала 2 Гц)

Выводы

В результате проведения эксперимента были определены амплитудно-частотные и переходные характеристики РВД, описанные в статье;

Представленные соотношения позволяют получить необходимые динамические характеристики РВД, что даёт возможность использовать полученные данные при проектировании гидроприводов машин различного назначения;

Предложенная методика экспериментальных исследований на основе созданной 3D-модели позволяет установить величину статического коэффициента податливости $K(p)$ РВД, определить динамический коэффициент податливости $K_d(p)(f)$ и установить зависимость изменения данного коэффициента от частоты входящего сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рукава резиновые высокого давления с металлическими оплетками неармированные. Технические условия : ГОСТ 6286-73. – [Чинний від 1974-07-01]. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 16 с.
2. Рукава высокого давления армированные для гидросистем тракторов и сельскохозяйственных машин. Основные параметры и присоединительные размеры : ГОСТ Р 51207-98. – [Чинний від 2000-01-01]. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 7 с.
3. Немировский И. А. Расчет гидроприводов технологических машин / И. А. Немировский. – К.: Техника, 1992. – 181 с.
4. Дусанюк Ж. П. Дослідження динамічних характеристик рукавів високого тиску / Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, В. І. Савуляк, С. В. Дусанюк // Вісник ВПІ. – 1998. – № 1. – С. 83 – 87
5. Ishikawa K. Experimental study on dynamic pipe fracture in consideration of hydropower plant model / K. Ishikawa, Y. Kono, A. Haga, K. Kato, K. Sugawara // Annual Journal Water Science and Engineering. – 2009. – № 2(4). – P. 60 – 68.
6. George E. Tolten. Tribology of hydraulic pump testing / George E. Tolten, Gary H. King, Donald M. Smolenski. – Philadelphia.: (STP: 1310). – 1997. – 376 p.
7. Rowinski Pawel. Experimental Methods in Hydraulic Research / Pawel Rowinski. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2011. – 321 p.
8. George E. Tolten. Hydraulic failure analysis: fluids, components and system effects / George E. Tolten, David K. Wills, Dierk G. Feldmann. – Philadelphia: (STP: 1339). – 2001. – 601 p.
9. Pat. 5,481,902 United States Patent МПК⁶ G01M 3/02, G01M 3/28. Pipe Testing system / Douglas Lanasa. — Claimer and patent holder Lanasa; Douglas (Channelview, TX). – №08/188,023; claimed 28.01.94 ; published 09.01.96.
10. Pat. 4,442,403 United States Patent МПК⁶ G01N 27/90, G01N 027/72, G01N 027/82. Testing installation for pipes having an internal testing unit driven by the rotation of the pipe/ Carl-Ludwig Pohler. — Claimer and patent holder Pohler; Carl-Ludwig (D-5650 Solingen 1, DE). – №06/249,887; claimed 01.04.81 ; published 10.04.84.

Пурдик Виктор Петрович – к. т. н., доцент кафедры технологии автоматизации машиностроения.

Поздняков Михаил Юрьевич – магистрант.

Винницкий национальный технический университет.