

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ПНЕВМО-ГИДРОАППАРАТОВ

К.Т.Н. Труханов К.А.¹, К.Т.Н. Ефремова К.Д.², Макаров И.В.²

¹СКТБ РК, ²МГТУ им. Н.Э. Баумана,
efremova.k.d@gmail.com

Большое количество современных промышленных систем управления исполнительными механизмами имеет в своем составе элементы пневмо- гидроавтоматики. При синтезе таких систем появляется задача по исследованию их динамических свойств и устойчивости. На указанные качества систем влияют входящие в них компоненты, в частности, пневмо-гидроаппараты, поскольку, элементы после соединения друг с другом могут образовывать неустойчивую систему, и (или), наоборот, устойчивые системы могут содержать неустойчивые элементы. Чтобы это проанализировать, необходимо проверить устойчивость работы любого компонента, включенного в проектируемую систему. Исходя из этого целью данной работы стало установление однозначной взаимосвязи получаемых экспериментальным путем частотных характеристик пневмо-гидроаппарата и вида передаточной функции, позволяющей анализировать устойчивость системы, его использующей. В статье представлен способ получения экспериментальных амплитудной и фазовой частотных характеристик пневмо- гидроаппаратов, приведены основные соотношения необходимые для их построения. Рассмотрен вопрос идентификации передаточной функции на примере выбранного ряда пневмоаппаратов и их полученных экспериментальным путем амплитудной и фазовой частотных характеристик. Для каждого из рассматриваемых пневмоаппаратов были получены постоянные коэффициенты передаточной функции. Произведена оценка динамических свойств данных пневмоаппаратов. В качестве критериев оценки были приняты: время переходного процесса и максимальная динамическая ошибка. Выполнена оценка устойчивости системы, состоящей из пневмоцилиндра с датчиком обратной связи по положению штока совместно с каждым из рассмотренных пневмоаппаратов. Для исследования устойчивости системы была составлена линеаризованная математическая модель этой системы. Для созданной модели системы были построены амплитудные и фазовые частотные характеристики в логарифмическом масштабе (ЛАХ и ЛФХ), по которым были найдены запасы по фазе и амплитуде всей системы в целом. По результатам выполненной работы были сделаны выводы.

Ключевые слова: функция передаточная, идентификация, характеристики частотные, пневмоаппарат.

Введение

При разработке, исследовании и эксплуатации систем управления любым исполнительным механизмом с использованием элементов пневмо- гидроавтоматики появляется необходимость в оценке динамических характеристик создаваемого привода. Пнемо- и гидроаппараты, входящие в состав системы и предназначенные для регулирования параметров потоков рабочей жидкости в пневмо- гидроприводах согласно с законом входного сигнала, характеризуются своими собственными свойствами [1]. Так, работающие устойчиво машины или агрегаты после соединения друг с другом могут образовать неустойчивую систему, и, наоборот, устойчивые системы могут содержать неустойчивые элементы [2]. Для оценки работоспособности системы и эффективности ее применения необходимо иметь возможность

определить динамические характеристики и проверить устойчивость конкретного аппарата, входящего в ее состав. Для этого необходимо получить вид передаточной функции этого устройства. Однако в литературе еще недостаточно освещены рекомендации по способу такой идентификации как единой методики.

Целью исследования является установление однозначной взаимосвязи полученных экспериментальным путем частотных характеристик пневмо-гидроаппаратов и вида передаточной функции, позволяющей проводить исследование по устойчивости системы, его использующей.

Общие положения и основные математические соотношения

При синтезе и проектировании систем автоматического управления широко применяют амплитудные и фазовые частотные характери-

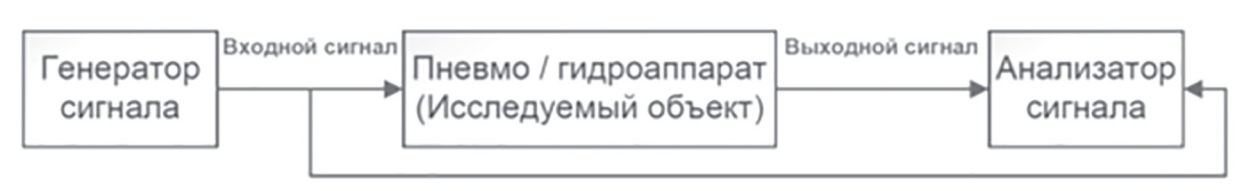


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

стики [2, 3]. Амплитудной частотной характеристикой называется зависимость отношения амплитуд установившихся колебаний выходной и входной величин от частоты. Фазовой частотной характеристикой называется зависимость сдвига по фазе в колебаниях выходной и входной величин от частоты [2].

Амплитудная частотная характеристика (АЧХ) определяется как модуль комплексной величины:

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)} = \frac{|M(j\omega)|}{|D(j\omega)|}, \quad (1)$$

где $U(\omega)$ и $V(\omega)$ – вещественная и мнимая частотные характеристики комплексной величины $W(j\omega)$ амплитудно-фазовой частотной характеристики или комплексной частотной передаточной функции [2]; $M(j\omega) = b_m(j\omega)^m + b_{m-1}(j\omega)^{m-1} + \dots + b_0$ – полином, получаемый из правой части, связанной с входной величиной, дифференциального уравнения, устанавливающего соответствие входной и выходной величин элемента или системы; $D(j\omega) = a_n(j\omega)^n + a_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \dots + a_0$ – полином, определяющий левую часть того же дифференциального уравнения, характеризующую собственные свойства элемента или системы, независящих от внешних воздействий, и называемый выходным или собственным оператором [2]; b_m и a_n – постоянные коэффициенты полиномов $M(j\omega)$ и $D(j\omega)$; m и n – количество членов полиномов $M(j\omega)$ и $D(j\omega)$.

Фазовая частотная характеристика (ФЧХ) находится

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)} = \frac{|M(j\omega)|}{|D(j\omega)|}, \quad (2)$$

Амплитудную и фазовую частотные характеристики принято изображать, используя логарифмические масштабы, что дает ряд преимуществ: высокую точность во всем диапазоне частот для значений $A(\omega)$; возмож-

ность получать простые аппроксимации для $L(\omega) = 20 \cdot \lg |A(\omega)|$; частотная характеристика системы при последовательном соединении элементов получается суммированием частотных характеристик отдельных элементов [2, 3].

Для экспериментального определения частотных характеристик пневмо-гидроаппарата может быть применена схема, изображенная на рис. 1.

С помощью генератора сигнала на исследуемый объект подается значение входного воздействия $x_{вх}(t) = A_{вх} \sin(\omega t + \varphi_{вх})$, где ω – круговая (угловая) частота (рад/с), $A_{вх}$ – амплитуда входного сигнала, $\varphi_{вх}$ – начальная фаза колебаний. Тогда на выходе исследуемого объекта в установившемся режиме будет гармонический сигнал $y_{вых}(t)$ той же частоты, но с другой амплитудой $A_{вых}$ и сдвинутый по фазе относительно входного сигнала на угол $\varphi_{вых}$, т.е. $y_{вых}(t) = A_{вых} \sin(\omega t + \varphi_{вых})$, что показано на рис. 2.

Если постепенно изменять частоту колебаний и определять установившиеся значения амплитуды и фазы выходных колебаний для разных частот, то можно получить зависимость от частоты амплитудную и фазовую частотные характеристики исследуемого объекта [4].

Для исследуемых пневмо-гидроаппаратов входным воздействием будет сигнал, подаваемый на перемещение золотника, выходным воздействием – сигнал обратной связи по перемещению золотника.

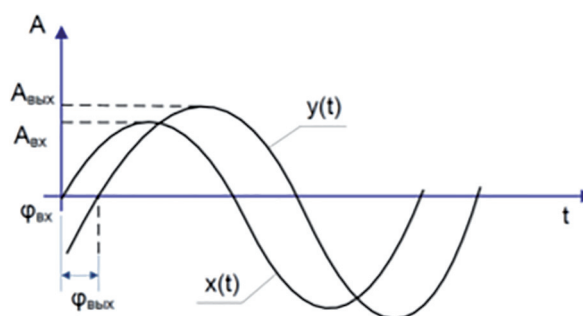


Рис. 2. Графическое представление изменения выходного сигнала относительно входного для исследуемого объекта

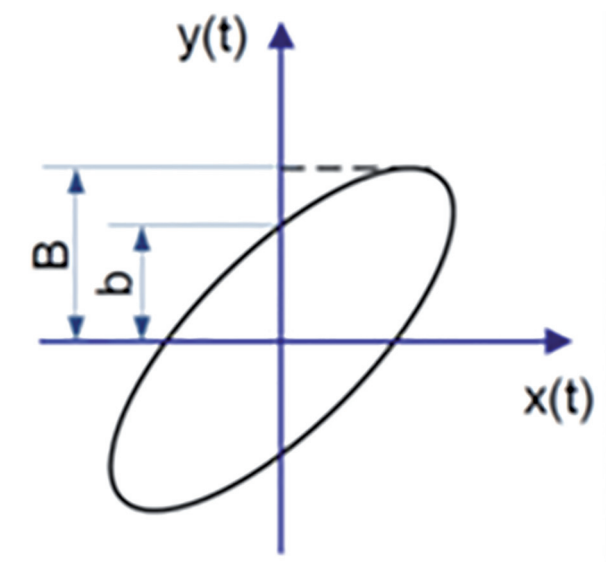


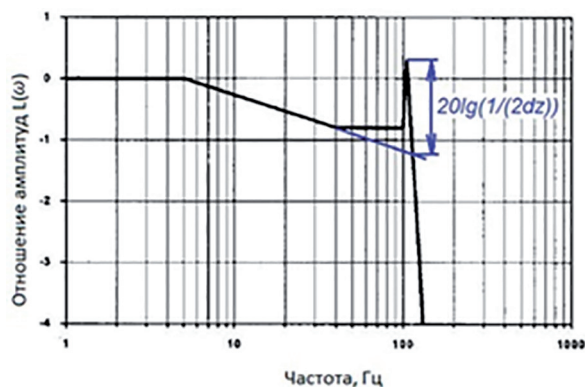
Рис. 3. Вид фигуры Лиссажу для определения сдвига фаз

Измерение сдвига фаз входного и выходного сигнала выполняется по фигуре Лиссажу – на экране анализатора сигнала, рис. 3. Для получения фигуры Лиссажу необходимо, например, по оси «X» отложить входное воздействие (входное напряжение), подаваемое с генератора сигнала, а по оси «Y» отложить величину выходного сигнала (напряжение обратной связи). На экране анализатора сигнала отобразится эллипс, наклоненный вправо или влево, в зависимости от величины угла сдвига фаз.

Угол сдвига фаз $\varphi(\omega)$

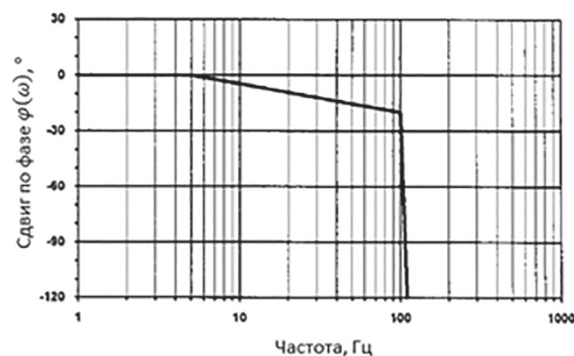
$$\sin(\varphi(\omega)) = \frac{b}{B}, \quad (3)$$

где b – координата точки пересечения эллипса с положительной осью ординат, B – координата проекции вершины эллипса на ось ординат.



а

$$W(s) = \frac{K}{T^2 s^2 + 2\zeta Ts + 1}, \quad (4)$$



б

Рис. 4. Экспериментальные характеристики исследуемого пневмоаппарата, построенные в логарифмическом масштабе: а – амплитудная частотная характеристика; б – фазовая частотная характеристика

Для правильного определения угла сдвига фаз необходимо учитывать, что при $\varphi(\omega) = 90^\circ$, фигура Лиссажу представляет собой окружность, и при дальнейшем увеличении частоты (эллипс меняет свой наклон относительно осей координат) к полученному по выражению (3) углу $\varphi(\omega)$ необходимо прибавить 90° , т.е. $\varphi(\omega) = \varphi(\omega) + 90^\circ$. Для колебательных звеньев необходимо все полученные значения для угла $\varphi(\omega)$ брать со знаком «-» [4].

Идентификация передаточной функции пневмоаппарата

В качестве примера исследования по идентификации передаточной функции был рассмотрен ряд пневмоаппаратов, для которых были определены частотные характеристики [5]. Пример амплитудной и фазовой частотных характеристик для одного из выбранных пневмоаппаратов приведен на рис. 4.

Анализируя амплитудную частотную характеристику, приведенную на рис. 4а, имеем [2, 3]:

- наклон низкочастотной асимптоты равен 0 дБ/дек, т.к. в области низких частот амплитудная частотная характеристика – горизонтальная линия;
- наклон высокочастотной асимптоты равен -12 дБ/окт или -40 дБ/дек [2];
- график имеет характерный всплеск в области пересечения асимптот;
- аналогично имеем для всех исследуемых пневмоаппаратов [5].

Поэтому, в качестве передаточной функции для исследуемых пневмоаппаратов допустимо использовать колебательное звено второго порядка, вид которой следующий:

где K – коэффициент усиления; T – постоянная времени; ζ – коэффициент относительного демпфирования; $s \equiv d/dt$ – комплексная переменная в преобразовании Лапласа [2], принимаемая нулевыми начальными условиями.

Коэффициент усиления для передаточной функции вида (4) исследуемого пневмоаппарата $K = 1$, т.к. низкочастотная асимптота совпадает с осью абсцисс (частот) и параллельна ей.

Высокочастотная асимптота проходит через точку $\omega_0 = 1/T$ [2], откуда:

$$T = \frac{1}{\omega_0}. \quad (5)$$

Коэффициент относительного демпфирования может быть найден из соотношения [2] (см. рис. 4а):

$$L(\omega) = 20 \cdot \lg\left(\frac{1}{2\zeta}\right). \quad (6)$$

В случае если амплитудная частотная характеристика исследуемого пневмоаппарата имеет вид апериодического звена второго порядка, то передаточная функция (4) имеет вид:

$$W_a(s) = \frac{K}{(T_1s + 1) \cdot (T_2s + 1)}, \quad (7)$$

где $T_1 = 1/\omega_1$, $T_2 = 1/\omega_2$, $\omega_1 < \omega_2$, ω_1 и ω_2 – частоты пересечения асимптот.

Таким образом, логарифмическая амплитудная характеристика апериодического звена

Таблица 1

Параметры передаточной функции (4) для рассматриваемых пневмоаппаратов

№	Тип пневмоаппарата [5]	T , с	ζ
1	МРУЕ-5-М5-010В	0,050	0,416
2	МРУЕ-5-1/8HF-010В	0,063	0,441
3	МРУЕ-5-1/4-010В	0,070	0,430
4	МРУЕ-5-3/8-010В	0,157	0,628

второго порядка может быть приближенно заменена тремя прямыми: с наклоном 0 дБ/дек, с наклоном -20 дБ/дек и с наклоном -40 дБ/дек [2].

Для исследуемых пневмоаппаратов [5] были найдены постоянные передаточной функции (4), представленные в табл. 1.

Используя данные табл. 1 в передаточной функции вида (4), построены переходные процессы рассмотренных пневмоаппаратов. Результат в виде получившихся переходных процессов приведен на рис. 5.

Оценка качества получившихся переходных процессов (рис. 5) выполнена по следующим показателям:

- время переходного процесса t_n , по истечении которого переходный процесс попадает «канал» допустимых отклонений. Величина отклонения регулируемой величины назначена равной $\pm 0,05\%$ от установившегося значения [2];

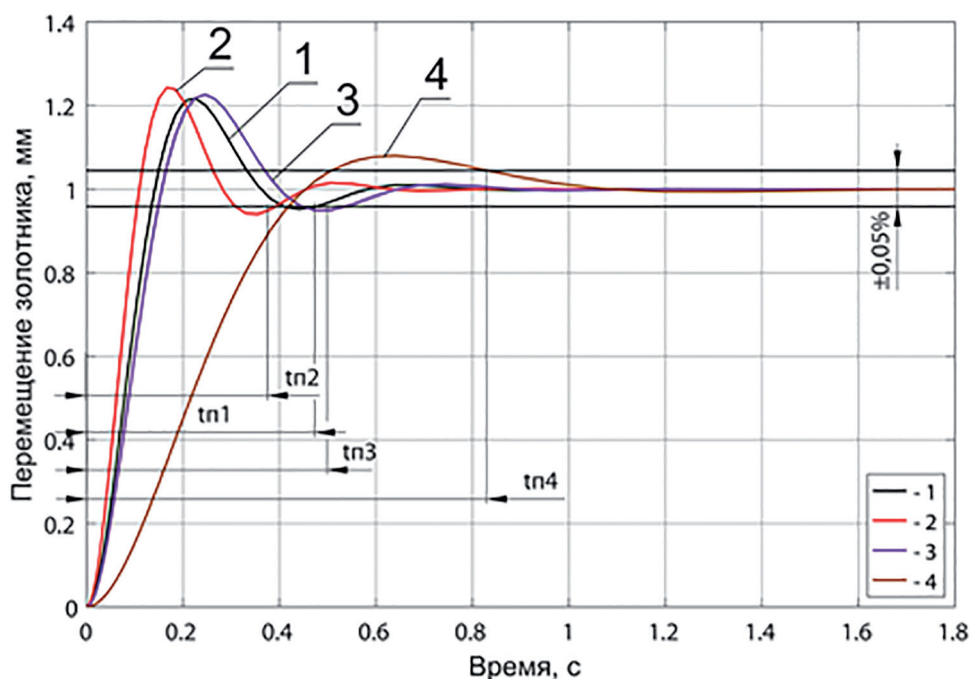


Рис. 5. Вид переходных процессов, рассматриваемых пневмоаппаратов

- максимальная динамическая ошибка, определяется соотношением:

$$\sigma_{\max} = \frac{|y_{\max} - y_{\infty}|}{y_{\infty}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где y_{\max} – максимальное значение регулируемой величины, y_{∞} – установившееся значение регулируемой величины при $t \rightarrow \infty$.

Полученные результаты показателей качества переходных процессов приведены в таблице 2.

Полученные значения постоянных коэффициентов для передаточной функции (4) необходимы для выполнения синтеза и структурной оптимизации системы. В качестве критерия при оптимизации системы возможно использовать критерий для линейных механизмов, указанный в работе [6], применяя методику [7, 8].

Исследование системы совместно с рассматриваемыми пневмоаппаратами

В качестве исследуемой системы был выбран пневмоцилиндр (А), оснащенный датчиком обратной связи (ДОС) по перемещению штока, и пневмоаппаратом (V) для его управления (см. рис. 6).

Слежение за положением штока пневмоцилиндра А происходит с помощью датчика обратной связи ДОС. При подаче напряжения на катушку пневмоаппарата V (рис. 6) происходит смещение золотника пневмоаппарата на определенную величину, пропорциональную входному напряжению $U_{\text{вх}}$.

Для исследования устойчивости системы с учетом разного типоразмера пневмоаппаратов и их динамических характеристик была составлена линеаризованная математическая модель для системы (рис. 6), согласно методике [2, 9, 10]. Для созданной модели системы были построены амплитудные и фазовые частотные характеристики в логарифмическом масштабе (ЛАХ

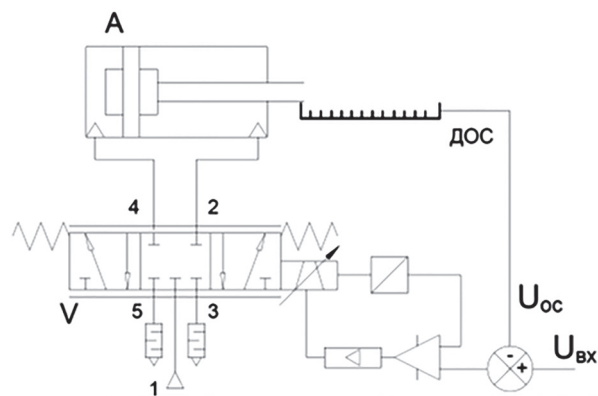


Рис. 6. Принципиальная схема системы

Таблица 2

Показатели качества переходных процессов для рассматриваемых пневмоаппаратов

№	$t_{\text{п}}, \text{с}$	$\sigma_{\text{max}}, \%$
1	0,45	21
2	0,38	25
3	0,51	22
4	0,83	10

Таблица 3

Оценка запасов устойчивости системы с разными пневмоаппаратами

№	Запасы по фазе, °	Запасы по амплитуде, дБ
1	87,4	22,9
2	86,7	22,1
3	86,7	21,7
4	80,4	19,3

и ЛФХ), приведенные на рис. 7, по которым оценивались запасы по фазе и амплитуде всей системы в целом.

По полученным характеристикам, приведенным на рис. 7, были определены запасы по фазе и амплитуде. Полученные значения представлены в табл. 3.

Для лучшей работы системы необходимо выбирать пневмоаппарат, у которого в составе системы запасы по ЛАХ и ЛФХ больше. По результатам, приведенным в табл. 3, видно, что рационально было бы использовать пропорциональный пневмоаппарат 1, поскольку он имеет большие запасы [2]. Тогда коэффициент усиления $K_{\text{сист}}$ системы можно выбрать больше. Но в большинстве технических задач требуется, чтобы работа привода (системы) была бы без перерегулирования, т.е. необходимо обеспечить отсутствие колебательности при максимально возможном коэффициенте усиления. Так, например, для выбранного пневмоаппарата № 2 (см. табл. 1) при увеличении коэффициента усиления $K_{\text{сист}}$ в 6 раз, время переходного процесса уменьшается в 4 раза, при этом запасы будут по фазе 65° , по амплитуде 6,5 дБ.

Выводы

1. Создана методика исследования устойчивости пневмо-гидросистем, основанная на установлении однозначной взаимосвязи полученных экспериментальным путем частотных характеристик пневмо-гидроаппарата,

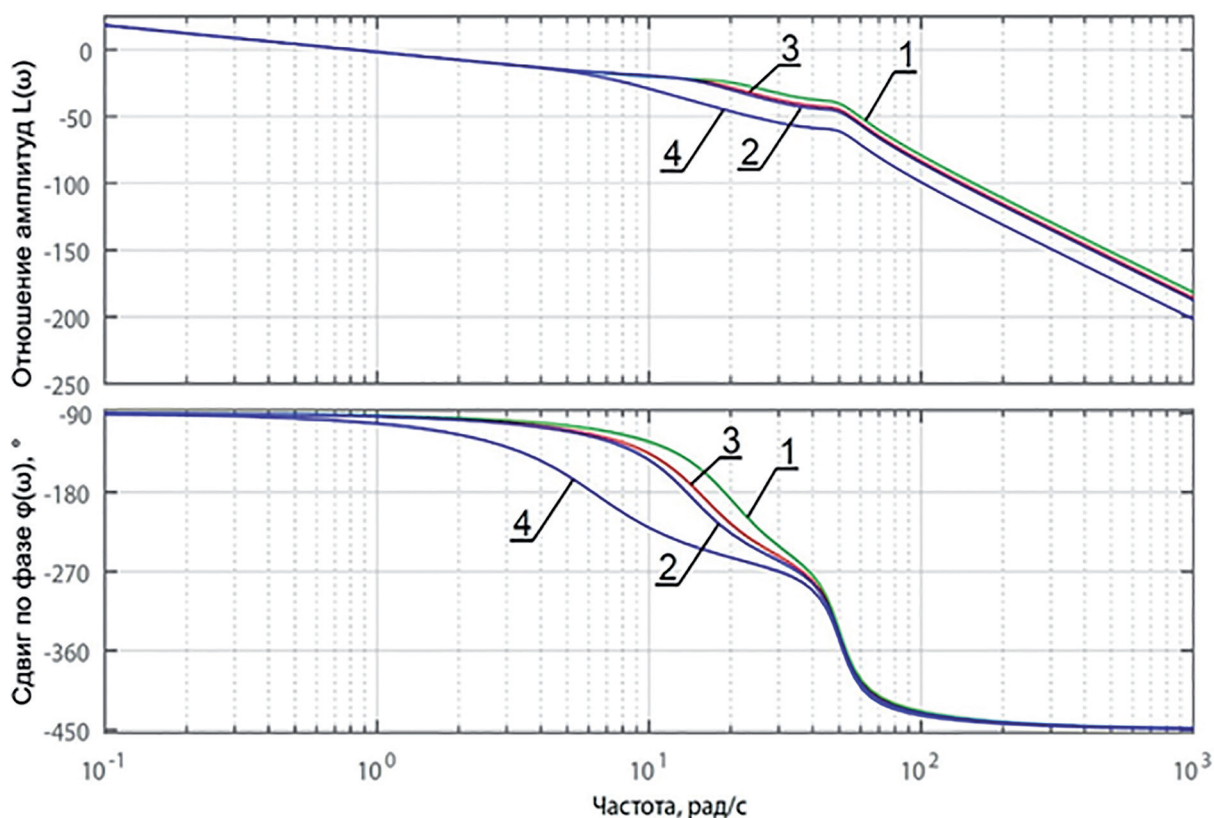


Рис. 7. Амплитудные и фазовые частотные характеристики системы в логарифмическом масштабе

входящего в систему, и вида его передаточной функции.

2. Получен вид передаточных функций для рассматриваемых пневмоаппаратов для которых сформулированы и определены показатели качества переходных процессов и определены запасы по фазе и амплитуде.

3. Для выпускаемых промышленностью современных пневмо-гидроаппаратов, входящих в состав системы, при оценке работоспособности и эффективности ее применения (т.е. динамических свойств и устойчивости всей системы), целесообразно использовать колебательное звено второго порядка для описания поведения самого пневмо- гидроаппарата.

4. Полученные значения постоянных коэффициентов для передаточной функции вида (4) необходимы для выполнения синтеза и структурной оптимизации системы. В качестве критерия при оптимизации системы возможно использовать критерий для линейных механизмов, указанный в работе [6], применяя методику [7, 8].

5. Установлено, что рационально было бы использовать пропорциональный пневмоаппарат, у которого запасы по фазе и амплитуде больше. Тогда коэффициент усиления для

системы можно принять больше. Но в большинстве инженерных приложений требуется, чтобы работа привода (системы) была бы без перерегулирования, т.е. необходимо обеспечить отсутствие колебательности при максимально возможном коэффициенте усиления. Так, например, для выбранного пневмоаппарата при увеличении коэффициента усиления в 6 раз, время переходного процесса уменьшается в 4 раза, при этом запасы будут по фазе 65° , по амплитуде 6,5 дБ.

6. Полученные результаты по идентификации передаточной функции пневмо- гидроаппарата могут применяться в инженерной практике при структурной оптимизации и синтезе систем управления [7, 11, 12] с их использованием.

Литература

1. Попов Д.Н., Асташев В.К., Густомясов А.Н. и др. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-2. Электропривод. Гидро- и виброприводы. В 2-х кн. Кн. 2. Гидро- и виброприводы / Под общ. ред. Д.Н. Попова, В.К. Асташева. М.: Машиностроение, 2012. 304 с.
2. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. М.: Машиностроение, 1987. 464 с.

3. Гудвин Г.К., Гребе С.В., Сальгадо М.Э. Проектирование систем управления. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 911 с.
 4. Балахнов Д.А. Определение частотных характеристик динамических звеньев: Методические указания к лабораторной работе. Ухта: УГТУ, 2005. 16 с.
 5. Proportional-Wegeregelventil MPYE-5-...B. DBL. 154412/922913. FESTO. Copyright by Festo AG&Co.K.G. 11 pgs.
 6. Попов Д.Н. Оценка эффективности и оптимальное проектирование гидроприводов // Вестник машиностроения. 1986. № 9. С. 20–23.
 7. Труханов К.А. Синтез гидропривода с дискретно управляемым движением выходного звена: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 16 с.
 8. Попов Д.Н., Замараев Д.С. Концепция оптимизации электрогидравлического следящего привода с дроссельным регулированием // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 6. С. 99-112. DOI: 10.7463/0613.0569281.
 9. Арзуманов Ю.Л., Халатов Е.М., Чекмазов В.И., Чуканов К.П. Математические модели систем пневмоавтоматики. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 294 с.
 10. Арзуманов Ю.Л., Халатов Е.М., Чекмазов В.И., Чуканов К.П. Основы построения математических моделей функционирования устройств пневмоавтоматики. М.: Издательский дом «Спектр», 2015. 130 с.
 11. Труханов К.А. Математическое моделирование гидропривода вентилятора для системы охлаждения автомобильного двигателя // Известия МГТУ «МАМИ». 2012. № 1(13). С. 84–96.
 12. Труханов К.А. Переходные процессы в гидроприводе вентилятора для системы охлаждения двигателя транспортного средства // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. № 1(15). С. 195–204.
- References**
1. Popov D.N., Astashev V.K., Gustomyasov A.N. i dr. *Mashinostroenie. Entsiklopediya* [Mechanical engineering. Encyclopedia]. T. IV-2. *Elektroprivod. Gidro- i vibroprivody* [Electric drive. Hydro - and vibrodrives]. V 2-kh kn. Kn. 2. *Gidro- i vibroprivody* [Hydro - and vibrodrives]. Pod obshch. red. D.N. Popova, V.K. Astasheva. Moscow. Mashinostroenie Publ., 2012. 304 p.
 2. Popov D.N. *Dinamika i regulirovanie gidro- i pnevmosistem* [Dynamics and regulation of hydraulic and pneumatic systems]. Moscow. Mashinostroenie Publ., 1987. 464 p.
 3. Gudvin G.K., Grebe S.V., Sal'gado M.E. *Proektirovanie sistem upravleniya* [Design of control systems]. Moscow. BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., 2004. 911 p.
 4. Balakhnov D.A. *Opreделение chastotnykh kharakteristik dinamicheskikh zven'ev* [Determination of the frequency characteristics of the dynamic links]. Ukhta: UGTU Publ., 2005. 16 p.
 5. Proportional-Wegeregelventil MPYE-5-...B. DBL. 154412/922913. FESTO. Copyright by Festo AG&Co.K.G. 11 pgs.
 6. Popov D.N. Evaluation of effectiveness and optimum designing of hydraulic drives. *Vestnik mashinostroeniya*. 1986. No 9. pp. 20-23 (In Russ.).
 7. Trukhanov K.A. *Sintez gidroprivoda s diskretno upravlyаемым dvizheniem vykhodnogo zvena*. Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Synthesis of a hydraulic actuator with discretely controlled motion of the output link]. Moscow. 2013. 16 p.
 8. Popov D.N., Zamaraev D.S. The concept of optimization of an electrohydraulic servo drive with throttle control. (In Russ.) *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana. Elektron. zhurn*. 2013. No 6, pp. 99-112. DOI: 10.7463/0613.0569281.
 9. Arzumanov Yu.L., Khalatov E.M., Chekmazov V.I., Chukanov K.P. *Matematicheskie modeli sistem pnevmoavtomatiki* [Mathematical models of pneumatic systems]. Moscow. Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2009. 294 p.
 10. Arzumanov Yu.L., Khalatov E.M., Chekmazov V.I., Chukanov K.P. *Osnovy postroeniya matematicheskikh modeley funktsionirovaniya ustroystv pnevmoavtomatiki* [The basics of building mathematical models of functioning of pneumatic devices]. Moscow. Izdatel'skiy dom "Spektr" Publ. 2015. 130 p.
 11. Trukhanov K.A. Mathematical modelling of a hydraulic fan for the cooling system of automotive engine. *Izvestiya MGTU «MAМИ»*. 2012. No 1(13), pp. 84 96 (In Russ.).
 12. Trukhanov K.A. Transient processes in the hydraulic fan for the cooling system of the motor vehicle. *Izvestiya MGTU «MAМИ»*. 2013. No 1(15), pp. 195-204 (In Russ.).

METHOD OF IDENTIFYING TRANSFER FUNCTION OF A PNEUMATIC/HYDRO APPARATUS

Ph.D. **K.A. Trykhanov**, Ph.D. **K.D. Efremova**, I.V. **Makarov**
SKTB RK, Bauman Moscow State Technical University
efremova.k.d@gmail.com

A large number of modern industrial systems of control by actuators is composed of elements of pneumatic/hydraulic automatics. In the synthesis of such systems, however, the challenge is to study their dynamic properties and stability. These quality systems are influenced by their constituent components, in particular pneumatic/ hydro apparatus, because the elements after connection with each other can form an unstable system, and/or, on the contrary, a sustainable system may contain unstable elements. To analyze it, it is needed to check the stability of any component included in the projected system. On this basis, the aim of this work was to establish unambiguous relationships obtained by experimental frequency characteristics of pneumatic/ hydro apparatus and type of transfer functions that allow to analyze the stability of the system that uses it. The article presents the method of obtaining the experimental amplitude and phase frequency characteristics of the pneumatic/ hydro apparatus, given the basic relationships required to build them. The issue of identification of transfer functions on the example of selected number of pneumoapparatus, obtained experimentally, the amplitude and phase frequency characteristics are considered. For each of these pneumoapparatus were obtained constant coefficients of the transfer function. The estimation of the dynamic properties of these pneumoapparatus was made. As evaluation criteria were adopted: the transient time and the maximum dynamic error. There was performed assessment of the stability of the system consisting of a pneumatic cylinder with sensor feedback on the status of the stock jointly with each of the considered pneumoapparatus. To study the stability of the system the linearized mathematical model was composed for this system. For the created model of the system was built amplitude and phase frequency characteristics in logarithmic scale (LAH and LPH), which were found reserves of amplitude and phase of the whole system. According to the results of the work performed, conclusions were drawn.

Keywords: transfer function, identification, characteristics, frequency, pneumoapparatus.