

УДК 621.646-62-82

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА

Таванюк Т.Я.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE ELECTRO-HYDRAULIC SERVO DRIVE

Tavanuk T.Ya.

Представлены автоматизированный стенд экспериментальных исследований динамических характеристик следящего привода, методики проведения эксперимента и проверки адекватности математических моделей динамических характеристик электрогидравлических следящих приводов. Проверка выполняется по критериям Стьюдента и Фишера.

Ключевые слова: *следящий привод, динамические характеристики, математическая модель.*

Введение. Проектирование высокотехнологического оборудования требует разработки адекватных математических моделей рабочих процессов, протекающих в них. В общем случае характеристики рабочих процессов являются нестационарными или периодически изменяются во времени.

Анализ последних исследований и публикаций. Проверка адекватности математических моделей, как правило, осуществляется сопоставлением расчётных и экспериментальных характеристик (величин, зависимостей), степень расхождения которых должна удовлетворять определённым критериям [1, 3].

Проведение динамических испытаний является более трудоёмким процессом, чем статических, и получение достоверных сведений о динамических свойствах является более сложной задачей. Это связано с корректным выбором испытательного сигнала, его реализацией при проведении эксперимента, оценкой динамической погрешности измерений [1, 2] и т.д. В полной мере отмеченные трудности относятся к исследованию динамических характеристик электрогидравлических следящих приводов технологического оборудования.

Цель статьи. В данной работе разработаны автоматизированный стенд, методика проведения экспериментальных исследований и проверки адекватности математических моделей динамических характеристик электрогидравлических следящих приводов.

Материалы и результаты исследования. Автоматизированный стенд экспериментальных исследований (АСЭИ) состоит из следующих основных узлов:

1. Электрогидравлического усилителя (ЭГУ), объединяющего электромеханический преобразователь (ЭМП), гидравлический усилитель (ГУ), распределительный и блокирующий золотники.

2. Гидравлического исполнительного органа, выполненного в виде гидроцилиндра с кривошипно-шатунным механизмом.

3. Устройства маслоснабжения, состоящего из электродвигателя, пластинчатого насоса, сетчатого фильтра, маслобака.

4. Механизма местного ручного управления, включающего приводной винт со штурвалом, рукоятку переключателя, указатели положения, вал с кулачками.

5. Электрического датчика обратной связи дифференциально-трансформаторного типа с выпрямителем.

6. Контрольно-регулирующих устройств (манометр, дроссели, предохранительные клапаны, реле давления).

Все узлы собраны на плите, установленной на маслобаке, который одновременно является несущей конструкцией. Давление питания не менее 2 МПа, максимальный рабочий угол порота 90°, пределы изменения величины напряжения управления 0...48 В, рабочая жидкость- масло «индустриальное 20» или «турбинное 22».

Привод может работать в режимах автоматического, дистанционного и местного ручного управления.

При автоматическом или дистанционном управлении на вход АСЭИ (ЭМП 26, рис. 1) от электронного регулирующего блока (ЭРБ) подается аналоговый сигнал в виде двух напряжений постоянного тока. При появлении сигнала небаланса (входные напряжения на катушках различны) сердечник под действием разности

электромагнитных сил переместится. Величина перемещения сердечника 25 пропорциональна сигналу небаланса, а направление перемещения определяется знаком этого сигнала. Сердечник 25 ЭМП жестко связан с управляющей иглой 22 гидравлического усилителя мощности.

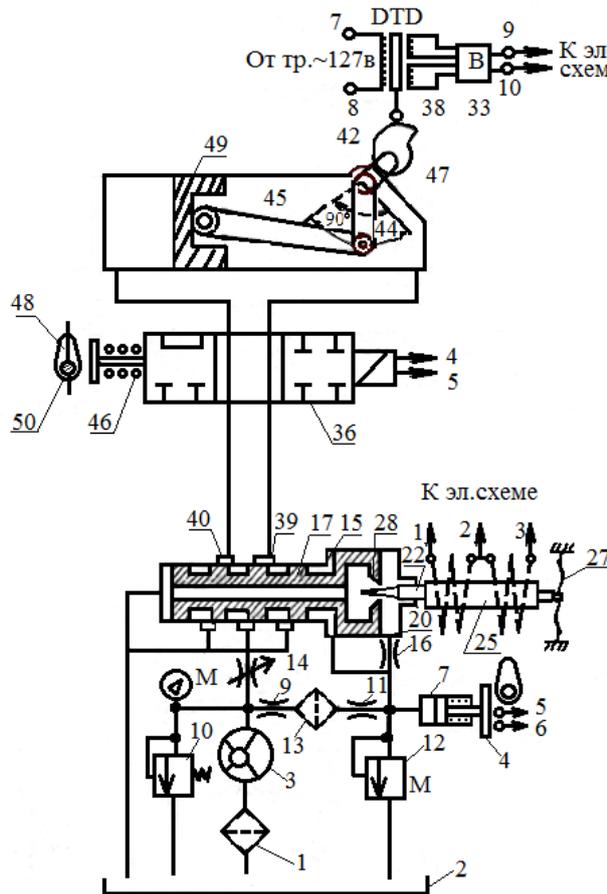


Рис. 1. Гидравлическая схема АСЭИ

При перемещении управляющей иглы изменяется зазор и потери в нем, а следовательно, и давление в камере 20. Нарушается равновесие, и золотник 17 тоже перемещается до нового положения равновесия. Причем, величина и направление смещения золотника 17 точно такие же, как и иглы 22, т.е. золотник следит за движением иглы.

При отсутствии сигнала небаланса на ЭМП сердечник 25 и игла 22 занимают среднее положение равновесия, при котором золотник 17 перекрывает каналы 39 и 40, ведущие исполнительного механизма 51. Поршень 49 неподвижен. При появлении сигнала небаланса на ЭМП золотник 17 смещается и масло под давлением поступает в одну из полостей гидроцилиндра 51, а с другой сливается в бак. Поршень приходит в движение. Скорость его движения зависит от величины смещения золотника 17, степени открытия дросселя 14 и давления после насоса, устанавливаемого и поддерживаемого переливным

клапаном 10 (он же предохранительный клапан всей системы). Для контроля давления в гидросистеме служит манометр М. Движение поршня через шатун 45 и кривошип 44 передается на вал 47, а через рычаг 41 на регулирующий орган.

Таким образом, осуществляется преобразование входного электрического сигнала в механическое воздействие привода на регулирующий орган при значительном усилении мощности.

Питание электромагнита осуществляется через микровыключатель МВ, переключение контактов 5 и 6 которого производится с помощью реле давления 7.

Для подачи в ЭРБ электрического сигнала обратной связи, служит дифференциально-трансформаторный датчик (ДТД) 35 с выпрямителем 33 (рис. 1). Сигнал датчика в пределах $\pm 12 В$ используется в ЭРБ для формирования закона регулирования, а также для подачи информации оператору о положении выходного рычага 41, а следовательно и регулирующего органа.

В АСЭИ управление приводом осуществляется дистанционно от специального электронного регулирующего блока ЭРБ, состоящего из блока питания, задатчика и усилителя. Таким образом, гидравлический привод будет обрабатывать входной электрический сигнал. Величина угла поворота выходного рычага 41 привода, направление его вращения и время движения (время обработки сигнала) определяются, во-первых, величиной и знаком сигнала управления и, во-вторых, конструктивными и динамическими данными привода и объекта регулирования.

АСЭИ предусматривает возможность получения статических характеристик, частотных (амплитудной частотной и фазовой частотной) и переходной характеристик ЭГСП. Для этого АСЭИ включает генератор входных испытательных сигналов, подаваемых на вход ЭРБ, и регистрирующую аппаратуру - лучевой И-6 и шлейфовый Н-700 осциллографа.

Таким образом, экспериментальная установка и контрольно-измерительная аппаратура позволяет создавать переменные входные испытательные сигналы и регистрировать динамические характеристики ЭГСП.

Наиболее вероятное среднее арифметическое значение

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

где n – число параллельных опытов (не менее пяти); x_i – значение измеряемой величины в i -ом опыте.

Среднеквадратичное отклонение результатов измерений

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Обнаружение грубой погрешности осуществлялось при помощи критерия Граббса

$$t_2 = \frac{|x_n - \bar{x}|}{S_n},$$

где x_n – проверяемое значение.

Если значение критерия Граббса больше табличного [5], то измерение отбрасывалось и повторно вычислялись \bar{x} и S_n .

Число параллельных опытов невелико, поэтому случайная ошибка

$$\Delta x_c = \frac{t_n S_n}{\sqrt{n}},$$

где S_n - критерий Стьюдента при числе опытов n и доверительной вероятности α (доверительная вероятность принималась, равной 0,95).

Суммарная ошибка Δx находилась в зависимости от случайной и систематической

$$\Delta x = \sqrt{\left(\frac{t_n S_n}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_\infty}{3}\right)^2},$$

где t_∞ - значение критерия Стьюдента при $n \rightarrow \infty$;

δ - систематическая погрешность прибора.

В большинстве случаев измеряется не непосредственно интересующая нас величина, а другая, зависящая от нее тем или иным образом. Такие измерения называются косвенными (в отличие от прямых, при которых определяемая величина измеряется непосредственно). К ним в наших опытах относились, в частности, статические характеристики элементов и устройств ЭГСП. В общем случае непосредственно измеряемые величины x_1, x_2, \dots, x_k будем считать аргументами, косвенно измеряемую величину функцией

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k).$$

Среднее значение косвенно измеряемой величины находим как

$$y = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k),$$

где $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$ – среднеарифметические значения непосредственно измеряемых величин.

Учитывая, что погрешности непосредственно измеряемых величин взаимнонезависимы и малы по сравнению с измеряемыми величинами, разложим функцию $f(x_i)$ в ряд Тейлора. Ограничившись первым членом ряда и, используя закон сложения случайных погрешностей, можно получить выражение для определения величины доверительного интервала погрешности косвенно измеряемой величины

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i\right)^2},$$

где $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ – частные производные по всем k

переменным $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$.

Подразумевается, что доверительная вероятность для доверительных интервалов погрешностей измерений одна и та же, поэтому доверительная вероятность доверительного интервала погрешности косвенного измерения также равна α .

Граница относительной погрешности косвенного измерения

$$\Delta \bar{y} = \frac{\Delta y}{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i\right)^2}.$$

Так как $\frac{1}{f} \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i = \frac{\partial}{\partial x_i} \ln f \Delta x_i$, то

$$\begin{aligned} \Delta \bar{y} &= \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial}{\partial x_i} \ln f \Delta x_i\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial x_1} \ln f \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial x_2} \ln f \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial}{\partial x_k} \ln f \Delta x_k\right)^2} \end{aligned}$$

Для проверки адекватности моделей выбран критерий Фишера [4]

$$F_e = \frac{S_{ad}^2}{S_e^2},$$

представляющий собой отношение двух дисперсий – воспроизводимости и адекватности.

Дисперсия воспроизводимости [4]

$$S_e^2 = \sum_{i=1}^n \frac{S_n^2}{n},$$

где S_{ni}^2 – среднеквадратичное отклонение при измерении i -го результата.

Рассеяние экспериментальных точек относительно расчетных характеризуется остаточной дисперсией или дисперсией адекватности [5]

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - y_{pi})^2}{m - l - 1},$$

где y_{pi} , y_i – расчетные и экспериментальные значения; m – число сравниваемых значений; l – число коэффициентов, определенных по опытным данным.

Теоретическая зависимость полагается адекватной опытной, если полученное экспериментальное значение критерия Фишера F_e меньше табличного $F_{табл}$, выбираемого по числу степеней свободы числителя и знаменателя, а также доверительной вероятности α

$$F_e < F_{табл}.$$

С использованием представленной методики на АСЭИ проведена проверка адекватности математических моделей ЭГСП разработанных в работах [6, 7].

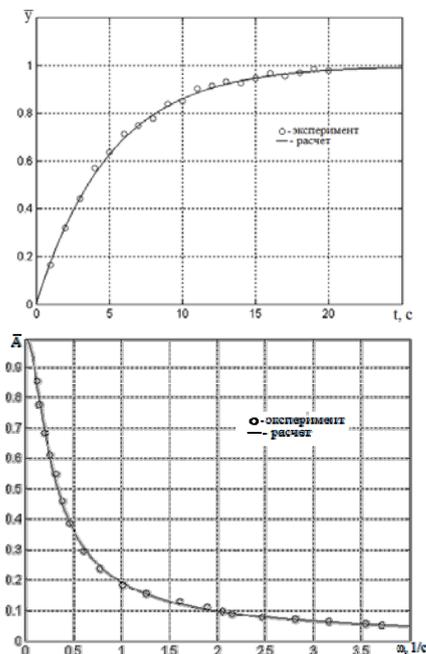


Рис. 2. Опытные данные и расчетная зависимость переходного процесса и амплитудной частотной характеристики

На рис. 2 представлены опытные данные и переходной процесс перемещения выходного звена ЭГСП. На рис. 4 сопоставлены опытные данные и безразмерная амплитудная частотная характеристика. Экспериментальные значения

критерия Фишера (менее 1,2) не превышали табличных значений. Поэтому разработанные модели динамических характеристик можно считать адекватными и положить в основу дальнейших исследований.

Выводы. Таким образом, разработан автоматизированный стенд и методика проведения экспериментальных исследований динамических характеристик. Проведена проверка адекватности математических моделей ЭГСП.

Л и т е р а т у р а

1. Балакирев В.С. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления/Балакирев В.С., Дудников В.Г., Цирлин А.М. – М.: Энергия, 1967. – 232 с.
2. Горский В.Г. Планирование промышленных экспериментов/ В. Горский, Ю. Адлер. – М.: Металлургия, 1974. – 264 с.
3. Алиев Т.А. Экспериментальный анализ/ Алиев Т.А. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.
4. Кринецкий И.И. Основы научных исследований/ Кринецкий И.И. – К.: Вища шк., 1981. – 210 с.
5. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента. – М.: Мир, 1980. – 612 с.
6. Соколова Я.В. Нелинейная математическая модель электрогидравлического следящего привода с дроссельным регулированием/ Соколова Я.В., Тванюк Т.Я., Соколов В.И. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. – № 10(152). – С. 168 – 175.
7. Андрийко А.А. Математическая модель электрогидравлического следящего привода с дроссельным регулированием/ Андрийко А.А., Таванюк Т.Я. // Збірник наукових праць студентів факультету приклад. механіки і матеріал. СХУ ім. В. Даля. – 2010. – С. 50 – 55.

References

1. Balakirev V.S. JEksperimental'noe opredelenie dinamicheskikh harakteristik promyshlennykh ob'ektov upravlenija/Balakirev V.S., Dudnikov V.G., Cirlin A.M. – М.: JEnergija, 1967. – 232 s.
2. Gorskij V.G. Planirovanie promyshlennykh jeksperimentov/ V. Gorskij, JU. Adler. – М.: Metallurgija, 1974. – 264 s.
3. Aliev T.A. JEksperimental'nyj analiz/ Aliev T.A. – М.: Mashinostroenie, 1991. – 272 s.
4. Krineckij I.I. Osnovy nauchnyh issledovanij/ Krineckij I.I. – К.: Vishha shk., 1981. – 210 s.
5. Dzhonson N., Lion F. Statistika i planirovanie jeksperimenta v tehnikе i nauke: Metody planirovanija jeksperimenta. – М.: Mir, 1980. – 612 s.
6. Sokolova JA.V. Nelinejnaja matematicheska model' jelektrogidravlicheskogo sledjashhego privoda s drossel'nym regulirovaniem/ Sokolo-va JA.V., Tvanjuk T.JA., Sokolov V.I. // Visnik Shid-noukraїns'kogo nacional'nogo universitetu im. Volodimira Dalja. – 2010. – № 10(152). – S. 168 – 175.
7. Andrijko A.A. Matematicheskaja model' jelektrogidravlicheskogo sledjashhego privoda s drossel'nym regulirovaniem/ Andrijko A.A., Tavanjuk T.JA. // Zbirnik naukovih prac' studentiv fakul'tetu priklad. mehaniki i material. SNU im. V. Dalja. – 2010. – S. 50 – 55.

Таванюк Т.Я. Експериментальне дослідження електрогідролічних слідуєчих приводів.

Подано автоматизований стенд експериментальних досліджень та методика перевірки адекватності, математичних моделей динамічних характеристик електрогідролічних слідуєчих приводів.

Ключові слова: слідуєчий привід, динамічні характеристики, математична модель.

Tavanyuk T.Ya. Experimental study of the electro-hydraulic servo drive

Presented an automated booth experimental studies dynamic characteristics of the servo drive, the techniques of experiment and verify the adequacy of mathematical models of the dynamic characteristics of electro-hydraulic servo drives. The test is performed by Student's t test and Fisher

Fisher criterion experimental values <1.2 are not exceeded tabulated value at 1.9 confidence level). Is a graph comparing the experimental data, research and Analytical Data

Key words: servo drive, dynamic performance, a mathematical model.

Таванюк Тетяна Яківна – к.т.н., доцент кафедри машинобудування, верстатів та інструментів Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Рецензент: Соколов В.І., д.т.н., професор

Стаття подана 10.11.2015.