

УДК 621.865.8
DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-2-449-453

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА ТОКАРНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА

© В.К. Москвин¹⁾, П.М. Кузнецов¹⁾, И.И. Пасечников²⁾

¹⁾ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)
105005, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5
E-mail: moskvin1945@mail.ru

²⁾ Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33
E-mail: pasechnikov_ivan@mail.ru

Рассмотрены вопросы проведения экспериментальных исследований электрогидравлического линейного привода промышленного робота для автоматизации операций «загрузки-выгрузки» роботом в токарных станках с ЧПУ. Экспериментальные исследования проводились с целью проверки на практике разработанной методики расчета привода. Предлагаемая экспериментальная установка позволила максимально приблизить характер работы привода к производственным условиям.

Ключевые слова: экспериментальные исследования; промышленный робот; станок с ЧПУ; привод; статические и динамические характеристики

ВВЕДЕНИЕ

Исходя из обеспечения требуемой грузоподъемности и необходимых динамических характеристик, роботы нормальной грузоподъемности в большинстве случаев оснащаются электрогидравлическими приводами (1), (2). Схема одного из таких приводов показана на рис. 1, где: p_n , Q_n – давление и расход насоса; Q_1 , Q_2 – расходы через постоянные дроссели; G_1 , G_2 – гидравлические проводимости постоянных дросселей; F_3 – площадь торцевой поверхности плунжера золотника; j – жесткость пружин следящего золотника; m – масса плунжера золотника; y – смещение плунжера золотника; Q_3 , Q_4 – расходы через переменные дроссели; G_3 , G_4 – гидравлические проводимости переменных дросселей; d – диаметр отверстий в управляющей втулке; x – смещение отверстий в управляющей втулке; t – шаг резьбы винта; z_1 , z_2 , z_3 – числа зубьев редуктора; φ – угол поворота вала шагового двигателя; Q_{n1} , Q_{n2} – расходы в силовом цилиндре; F_n – площадь поршня силового цилиндра; T_n – сила трения поршня; $T_{шт}$ – сила трения штока; p_3 , p_4 – давление в полостях силового цилиндра; z – смещение рабочего органа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения экспериментальных исследований данного привода была создана экспериментальная установка. При создании установки были учтены следующие обстоятельства. Узлы станка и контрольно-регистрирующая аппаратура смонтированы на станине. Шаговый задатчик и следящий золотник, скомпо-

нованные в один узел, крепятся к корпусу исполнительного силового цилиндра.

Такая компоновка позволила получить беструбное соединение шагового, задатчика и следящего золотника и, кроме этого, удобное, компактное расположение этого узла по отношению к гидроцилиндру и исполнительному органу. Такое размещение привода на испытательном стенде повторяет его конструктивное исполнение в манипуляторе.

Исполнительным органом привода на стенде является стол, который перемещается на двух круглых направляющих и крепится непосредственно к штоку исполнительного гидроцилиндра. Гидроцилиндр двухштоковый. Жесткая единичная внутренняя отрицательная обратная связь обеспечивается соединением винта шагового задатчика со столом посредством кронштейна.

Питание стенда осуществляется серийной насосной станцией МГ-48-44 производительностью 50 л/мин., развивающей давление в гидросистеме 4,9 МПа. Подача управляющих воздействий на шаговый электрический двигатель производится от устройства числового управления как с помощью пульта ручного набора команд, так и с помощью программы.

На стадии предварительных испытаний при уточнении параметров привода и пробных пусках с целью упрощения системы управления вместо шагового электродвигателя в задатчик встроены электродвигатель постоянного тока. Питание двигателю подавалось от блоков питания, построенных на основе выпрямителей, подающих постоянное напряжение на обмотку возбуждения и на обмотку якоря. Частота вращения электродвигателя изменялась в пределах от 0 до 1000 об./мин. с помощью реостатной схемы включения.

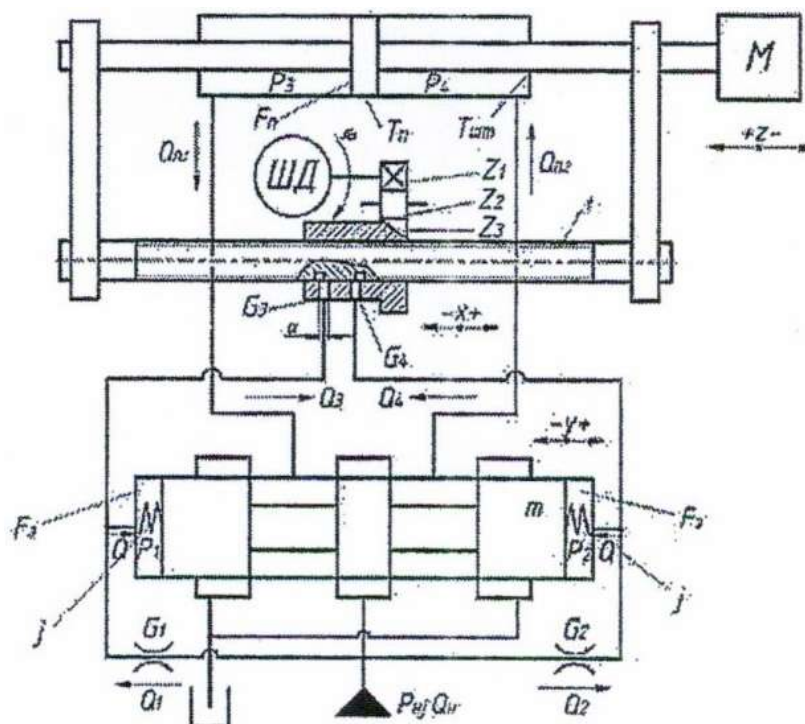


Рис. 1. Гидравлическая схема линейного шагового электрогидравлического привода

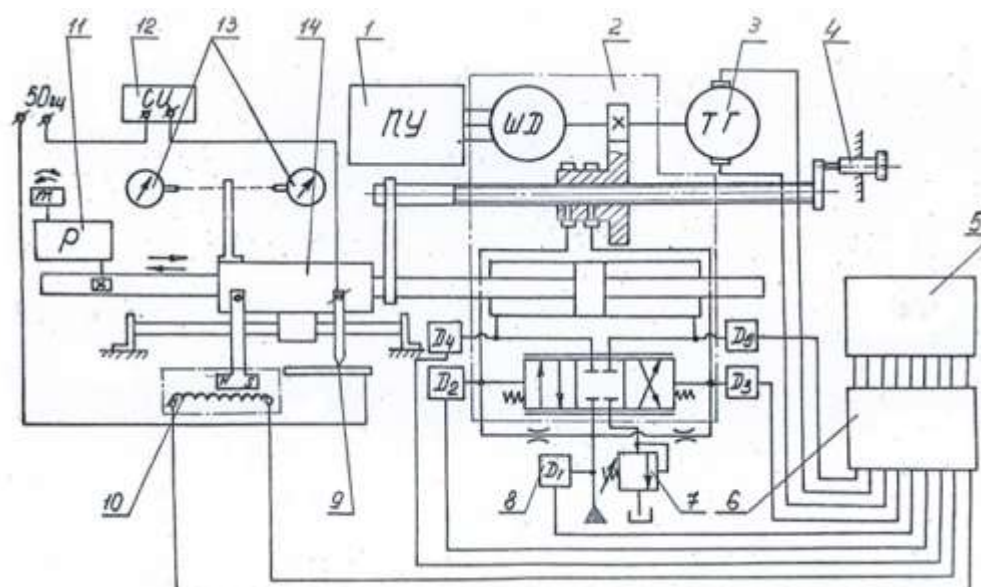


Рис. 2. Схема стенда для экспериментальных исследований линейного шагового электрогидравлического привода

Учитывая, что нагрузка на захватном органе манипулятора в момент переходных режимов разгона и торможения носит инерционный характер, было спроектировано специальное нагрузочное устройство, состоящее из маховика и повышающего редуктора, соединенного со штоком гидроцилиндра посредством реечной передачи. Это устройство позволяло имитировать с достаточной степенью приближения нагрузку на исполнительном звене привода в момент исследования его динамических характеристик.

В процессе испытания привода в статическом режиме нагрузка на рабочем органе создавалась установкой на сливной магистрали клапана, обеспечивающего создание противодействия в обратной полости гидроцилиндра. Визуальный контроль давлений производился с помощью тарированных манометров, установленных на различных участках схемы. Общая схема экспериментальной установки приведена на рис. 2, где: 1 – устройство числового программного управления; 2 – исследуемый привод; 3 – тахогенератор; 4 – микромет-

рический винт; 5 – шлейфовый осциллограф; 6 – усилитель; 7 – нагрузочный клапан; 8 – комплект датчиков давления; 9 – датчик пути; 10 – датчик скорости; 11 – нагрузочное устройство; 12 – счетчик импульсов; 13 – микронные индикаторы; 14 – стол.

Экспериментальная установка позволила промоделировать поведение привода в статических и динамических режимах – при ускоренных и замедленных перемещениях, в режиме единичных дискретных воздействий, переходные процессы в режиме «разгона» и «торможения», частотные характеристики.

Для построения регулировочных характеристик по расходу и давлению $Q_n = f(x)$ и $\Delta p_3 = f(x)$ управляющее воздействие задавалось путем механического смещения винта-золотника микрометрическим винтом, установленным на неподвижном кронштейне. Внутренняя обратная связь при этом размыкалась. Определение расхода во внешней цепи золотника Q_n производилось косвенным методом с учетом скорости линейного перемещения $\frac{ds}{dt}$ и размеров поршня гидроцилиндра F_n . Утечки при этом принимались равными постоянной величине. Скорость $\frac{ds}{dt}$ определялась счетчиком импульсов в паре с датчиком пути. В качестве датчика пути использовался скользящий электрический контакт длиной 180 мм, замыкающий и размыкающий электрическую цепь питания счетчика импульсов, на который подавалось переменное напряжение частотой 50 Гц. Счетчик отсчитывает количество импульсов за время движения стола в зоне контакта, что с учетом длины контакта и частоты импульсов в пересчете позволяет получить среднюю скорость $\frac{ds}{dt}$ на этом отрезке.

Перепад давлений во внешней цепи золотника Δp_3 задавался путем создания нагрузки на сливной магистрали нагрузочным клапаном. Контроль и регистрация давлений, как уже упоминалось, осуществлялись датчиками давлений, выполненными с помощью тензодатчиков сопротивления с базой 20 мм, наклеенных на рабочие элементы манометров. Тензодатчики соединены по мостовой схеме. Сигналы с датчиков подавались на шлейфовый осциллограф.

Для определения зоны нечувствительности привода непосредственно на штоке исполнительного гидроцилиндра устанавливался стрелочный индикатор, имеющий цену деления 1 мкм, позволяющий определить начало движения рабочего органа. Входное воздействие при этом задавалось микрометрическим винтом, плавно смещающим винт-золотник относительно нулевого положения.

Проливочные характеристики отверстий в управляющей втулке строились путем измерения объема рабочей жидкости, вытекающей в единицу времени из внутренней полости задатчика. При этом сливной трубопровод задатчика заглушался, и масло, идущее на слив из полости задатчика по резьбе винта-золотника, улавливалось в мерительную мензурку.

Оценка точности позиционирования рабочего органа привода производилась при многократном двухстороннем позиционировании в различных точках на длине хода 300 мм. Точность позиционирования определялась методом статистической оценки.

Для изучения динамических характеристик привода стенд был оснащен линейным индуктивным датчиком скорости и тахогенератором. Датчик скорости предназначен для определения характера изменения скорости

выходного звена $\frac{ds}{dt}$ привода, при обработке им различных входных воздействий, подаваемых на первый каскад привода. Датчик представляет собой две плоские катушки с сердечником из пластин трансформаторной стали, на которые намотан медный провод диаметром 0,08 мм. Последовательное соединение катушек позволило получить чувствительность датчика 6 В·с/м. Катушки закреплены на неподвижном основании. На кронштейне, закрепленном на исполнительном рабочем органе и перемещающемся вместе с ним, смонтирован с минимальным зазором относительно катушек постоянный магнит таким образом, что силовые линии от полюсов магнита пересекают витки катушек и при относительном движении индуцируют в них ЭДС, пропорциональную линейной скорости рабочего органа. Получаемый сигнал фиксируется шлейфовым осциллографом. Это позволяет получить показатели качества переходных процессов при реакции привода на детерминированные воздействия в виде ступенчатых, дискретных, гармонических сигналов и сигналов постоянной скорости.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установка датчика скорости на выходном звене привода дала возможность определить влияние на характер переходных процессов как элементов системы ЧПУ, так и гидромеханической части привода. На характер изменения скорости со стороны гидроусилителя влияют погрешности изготовления элементов не силового редуктора, отжим управляющей втулки относительно винта-золотника из-за одностороннего подвода рабочей жидкости, инерционность промежуточных звеньев и ряд других. Для выделения из перечисленных факторов влияния гидроусилителя на входном валу шагового задатчика, установлен тахогенератор, являющийся датчиком угловой скорости $\frac{d\phi}{dt}$ входного вала редуктора первого каскада гидроусилителя. Сигнал, вырабатываемый тахогенератором, также подается для записи на осциллограф. Уровень сигналов, вырабатываемых индуктивным датчиком скорости и тахогенератором, достаточно высокий и не требует предварительного усиления.

С целью определения фактических динамических свойств гидравлической части привода были сняты экспериментальные частотные характеристики привода. Для этого на вход привода (ШД) с устройства программного управления подавался синусоидальный сигнал. С этой целью составлена программа отработки исполнительным рабочим органом (в случае двухкоординатного привода) окружности. При многократном повторе этой программы на шаговый привод одной из степеней свободы подавался синусоидальный сигнал вида $\phi = \beta \sin \omega t$. В этом случае угловая скорость вала шагового двигателя будет изменяться по следующему закону: $\frac{d\phi}{dt} = \beta \omega \cos \omega t$. В результате отработки приводом задающего воздействия, изменяющегося по этому закону, линейная скорость исполнительного рабочего органа будет изменяться соответственно выражению: $\frac{ds}{dt} = A \omega \cos(\omega t + B)$, где A – амплитуда колебаний, B – сдвиг по фазе. С помощью линейного индуктивного датчика скорости это изменение регистрируется. Сигналы, вырабатываемые тахогенератором и линейным

датчиком скорости, подаются для записи на осциллограф. Диапазон изменения частоты синусоидального сигнала, подаваемого на привод для снятия частотной характеристики, находился в пределах от 0,1 до 50 Гц. При линейной скорости $\frac{dS}{dt} = 250$ мм/с амплитуда менялась от 1250 до 2,5 мм.

Учитывая вышесказанное, следует отметить, что с помощью предлагаемой схемы исследовательского стенда можно проводить полноценные экспериментальные исследования электрогидравлических приводов при максимальном приближении характера работы привода к производственным условиям, имитирующим работу привода захватного устройства промышленного робота, обслуживающего токарный станок с ЧПУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Москвин В.К. Приводы роботов технологического назначения // Технология машиностроения. 2013. № 4. С. 50-54.
2. Москвин В.К., Кузнецов П.М. Сравнительная оценка вариантов приводов промышленных роботов в роботизированных технологических комплексах // Инновационная наука. Уфа: Науч.-изд. центр АЭТЕРНА, 2016. № 3-3. С. 118-122.
3. Москвин В.К., Кузнецов П.М. Обзор электрогидравлических приводов, применяемых в промышленных роботах роботизированных технологических комплексов // Инновационная наука. Уфа: Науч.-изд. центр АЭТЕРНА, 2016. № 5-2. С. 144-150.
4. Кузнецов П.М., Москвин В.К. Целеустремленные технологические системы в современном машиностроительном производстве // Инновационная наука. Уфа: Науч.-изд. центр АЭТЕРНА, 2016. № 5-2. С. 140-144.

Поступила в редакцию 1 марта 2017 г.

Москвин Валерий Константинович, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва, Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Металлорежущие станки», e-mail: moskvin1945@mail.ru

Кузнецов Павел Михайлович, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Металлорежущие станки», e-mail: profpol@rambler.ru

Пасечников Иван Иванович, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой теоретической и экспериментальной физики, e-mail: pasechnikov_ivan@mail.ru

UDC 621.865.8

DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-2-449-453

EXPERIMENTAL SETUP TO STUDY THE DRIVE OF THE INDUSTRIAL ROBOT OF LATHE ROBOTIC COMPLEX

© V.K. Moskvina¹, P.M. Kuznetsov¹, I.I. Pasechnikov²

¹ Bauman Moscow State Technical University
(National Research University)

5 2-ya Baumanskaya St., Moscow, Russian Federation, 105005
E-mail: moskvin1945@mail.ru

² Tambov State University named after G.R. Derzhavin
33 Internatsionalnaya St., Tambov, Russian Federation, 392000
E-mail: pasechnikov_ivan@mail.ru

The questions of experimental studies of electrohydraulic linear drive industrial robot to automate the operations of "loading and unloading" the robot in the CNC lathes are considered. Experimental studies are carried out in order to verify in practice the method of calculation of the drive. The proposed experimental setup made it possible to approximate the nature of the drive to the operating conditions.

Key words: experimental research; industrial robots; CNC machine; drive; static and dynamic characteristics

REFERENCES

1. Moskvina V.K. Privody robotov tekhnologicheskogo naznacheniya [Drives robots technological purposes]. *Tekhnologiya mashinostroeniya – Mechanical Engineering*, 2013, no. 4, pp. 50-54. (In Russian).
2. Moskvina V.K., Kuznetsov P.M. Sravnitel'naya otsenka variantov privodov promyshlennykh robotov v robotizirovannykh tekhnologicheskikh kompleksakh [Comparative assessment of options of industrial robots in the robotized technological complexes]. *Innovatsionnaya nauka – Innovative Science*, 2016, no. 3-3, pp. 118-122. (In Russian).
3. Moskvina V.K., Kuznetsov P.M. Obzor elektrogidravlicheskikh privodov, primenyaemykh v promyshlennykh robotakh robotizirovannykh tekhnologicheskikh kompleksov [Review of electrohydraulic actuators used in industrial robots robotic technological complexes]. *Innovatsionnaya nauka – Innovative Science*, 2016, no. 5-2, pp. 144-150. (In Russian).

4. Kuznetsov P.M., Moskvina V.K. Tselestremennyye tekhnologicheskiye sistemy v sovremennom mashinostroytel'nom proizvodstve [Purposeful technological systems in modern production engineering]. *Innovatsionnaya nauka – Innovative Science*, 2016, no. 5-2, pp. 140-144. (In Russian).

Received 1 March 2017

Moskvina Valery Konstantinovich, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, Russian Federation, Candidate of Technics, Associate Professor, Associate Professor of “Metal-Cutting Equipment” Department, e-mail: moskvina1945@mail.ru

Kuznetsov Pavel Mikhailovich, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor of “Metal-Cutting Equipment” Department, e-mail: profpol@rambler.ru

Pasechnikov Ivan Ivanovich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Head of Theoretical and Experimental Physics Department, e-mail: pasechnikov_ivan@mail.ru

Информация для цитирования:

Москвин В.К., Кузнецов П.М., Пасечников И.И. Экспериментальная установка для исследования привода промышленного робота токарного роботизированного комплекса // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2017. Т. 22. Вып. 2. С. 449-453. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-2-449-453

Moskvina V.K., Kuznetsov P.M., Pasechnikov I.I. Eksperimental'naya ustanovka dlya issledovaniya privoda promyshlennogo robota tokarnogo robotizirovannogo kompleksa [Experimental setup to study the drive of the industrial robot of lathe robotic complex]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskiye nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2017, vol. 22, no. 2, pp. 449-453. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-2-449-453 (In Russian).