

УДК 621.91:681.51+621.522

СТЕНДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОПРИВОДА С ДИСКРЕТНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ПОТОКА ЖИДКОСТИ

© 2013 В. П. Шорин, В. Я. Свербилов, А. Г. Гимадиев, П. И. Грешняков,
В. Н. Илюхин, Д.М. Стадник

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Разработано стендовое оборудование с комплексом управляющей и измерительно-регистрирующей аппаратуры для исследования динамических характеристик и энергетической эффективности гидропривода с дискретным регулятором потока жидкости как одним из наиболее перспективных средств управления. Приведены результаты экспериментальных исследований гидропривода с дискретным регулятором потока в виде коммутируемого инерционного устройства.

Гидропривод, стендовое оборудование, управляющий и измерительно-регистрационный комплекс, дискретный регулятор потока, инерционная трубка, статические и динамические характеристики, исследования.

В гидравлических системах многих машин для управления скоростью или усилием нагрузки используют дросселирующие клапаны. Это простой, но крайне неэффективный метод, при котором более 50% входной мощности тратится на нагрев окружающей среды. Альтернативный метод, основанный на использовании гидравлических машин переменного объёма, придаёт более высокий КПД, однако отличается высокой стоимостью компонентов. Тенденции развития гидропривода в направлении повышения энергетической эффективности и одновременного снижения габаритов и массы привели к появлению новых методов и средств управления потоком рабочей жидкости. Эти методы основаны на использовании дискретной техники. Клапаны дискретного действия относительно просты, дешёвы и надёжны. По данным зарубежных источников, применение таких средств позволяет повысить КПД гидропривода на десятки процентов [1-3]. В настоящее время работы по совершенствованию таких устройств и методов их управления проводятся в ряде ведущих исследовательских центров мира.

Авторами в работе [4] проведены теоретические исследования гидропривода с дискретным регулятором потока в

виде коммутируемого инерционного устройства, в которых показано повышение его энергетической эффективности. Для проверки адекватности математической модели гидропривода и сравнения расчётных зависимостей с экспериментальными данными необходимо создание специального стендового оборудования с комплексом управляющей и измерительно-регистрирующей аппаратуры.

Стендовое оборудование включает в себя энергетическую подсистему для подготовки рабочей среды с заданным расходом, давлением и температурой [5], испытуемый гидропривод, состоящий из регулятора потока жидкости и исполнительного элемента с нагрузкой в виде гидроцилиндра (рис. 1).

В дискретном регуляторе потока в качестве инерционного устройства использован трубопровод, который в дальнейшем назван «инерционной» трубкой. Регулятор смонтирован в конфигурации усилителя расхода жидкости [1]. В качестве дискретного электрогидравлического клапана использован сервоклапан MOOG серии 76 с гидроусилителем типа сопло-заслонка и жёсткой обратной связью по положению исполнительного золотника.

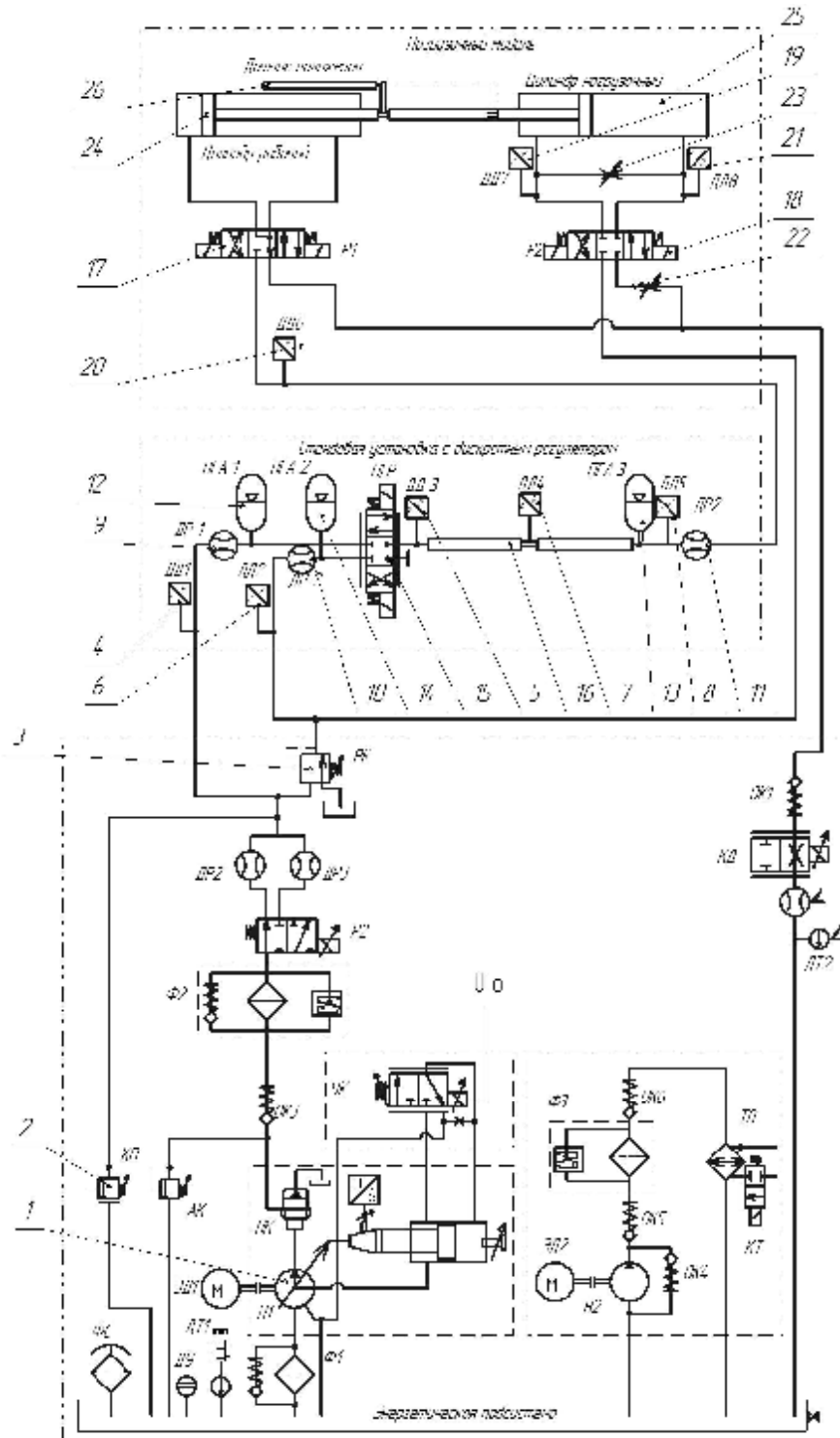


Рис. 1. Гидравлическая схема стендового оборудования для испытания гидропривода с дискретным регулятором потока жидкости:

1 - насос регулируемый аксиально-поршневой, $63 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, 35 МПа; 2 - клапан переливной, $P_{настр} = 8 \text{ МПа}$; 3 - редукционный клапан, $P_{настр} = 0,5 \text{ МПа}$; 4, 5 - датчик давления, $P_{max} = 40 \text{ МПа}$, $U_{вых} = 0 \dots 10 \text{ В}$; 6, 8 - датчик давления, $P_{max} = 17 \text{ МПа}$, $U_{вых} = 0 \dots 10 \text{ В}$; 9 - расходомер ТДР-10, $35 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; 10, 11 - расходомер ТДР-8, $14 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; 12, 13 - гидроаккумулятор, $V = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $P_{зар} = 2,1 \text{ МПа}$; 14 - гидроаккумулятор $V = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, $P_{зар} = 0,7 \text{ МПа}$; 15 - пропорциональный гидрораспределитель 4/3; 16 - инерционная труба; 17, 18 - гидрораспределитель 4/3, D_{y6} , $U_{пит} = 24 \text{ В}$; 19, 20 - датчик давления, $P_{max} = 17 \text{ МПа}$, $U_{вых} = 0 \dots 10 \text{ В}$; 21 - датчик давления, $P_{max} = 40 \text{ МПа}$, $U_{вых} = 0 \dots 10 \text{ В}$; 22, 23 - дроссель; 24, 25 - гидроцилиндр, $D_{цил} = 60 \text{ мм}$, $D_{штт} = 35 \text{ мм}$; 26 - потенциометрический датчик положения штока, $l_{max} = 250 \text{ мм}$



а б
Рис. 2. Внешний вид стенда для проведения испытаний гидропривода с дискретным регулятором потока и инерционной трубкой (а) и нагрузочного модуля (б)

Внешний вид разработанного и изготовленного стендового оборудования для исследования гидроприводов с дискретным управлением показан на рис. 2, 3.

Программно-аппаратный комплекс управления стендом и сбора информации состоит из двух уровней. В комплекс высокого уровня входят приложение, выполняемое на персональном компьютере, и приложение, выполняемое процессором реального времени. Комплекс низкого уровня включает в себя восемь датчиков давления, три датчика расхода, линейный датчик положения штока, реле включения дискретных распределителей нагрузочной системы, а также усилитель тока для управления сервоклапаном (рис. 4).

Приложение, выполняемое на компьютере, осуществляет общее управление и используется для просмотра процессов, происходящих при испытании с низкой частотой дискретизации. Для высокочастотной записи сигналов и непосредственного управления распределителем используется приложение, выполняемое на процессоре реального времени NI PXI 8186. Процессор реального времени находится на одной шине (NI PXI 1042Q) с модулем аналоговых входов-выходов NI PXI 6289 и модулем дискретных входов-выходов NI PXI 6515.

Скорость обмена данными по шине шасси PXI 1042Q может достигать 5,5 Б/с.

Связь между процессором реального времени и персональным компьютером осуществляется посредством интерфейса Ethernet. Записанный после испытаний сигнал в виде файла переносится на компьютер и обрабатывается.

Процессор реального времени NI PXI-8186 включает в себя: процессор 2.2 ГГц Intel Pentium 4-M; ОЗУ 256 МБ DDR; жёсткий диск 4 ГБ; Ethernet 10/100 Мбит/с; SMB разъёмы сторожевого таймера и запуска; PS/2 разъём для подключения клавиатуры и мыши; USB порт; параллельный порт; последовательные порты (RS232).

Шасси реального времени NI PXI-1042 включает в себя 8 универсальных слотов 3U PXI, собственную систему охлаждения и съёмный блок питания постоянного тока.

Модуль аналогового ввода-вывода NI PXI-6289 характеризуется следующими параметрами: частота опроса каналов 500 кГц (многоканальный режим); 625 кГц (один канал); 16 аналоговых входов; 4 аналоговых выхода; счётчик 80 МГц; программируемый фильтр до 40 кГц; точность модуля 18-Bit.

Программы управления, выполняемые на компьютере и процессоре реального времени, написаны с использованием программного пакета NI LabVIEW 2011 [6]. Фрагмент блок-диаграммы программы управления приведён на рис. 5.

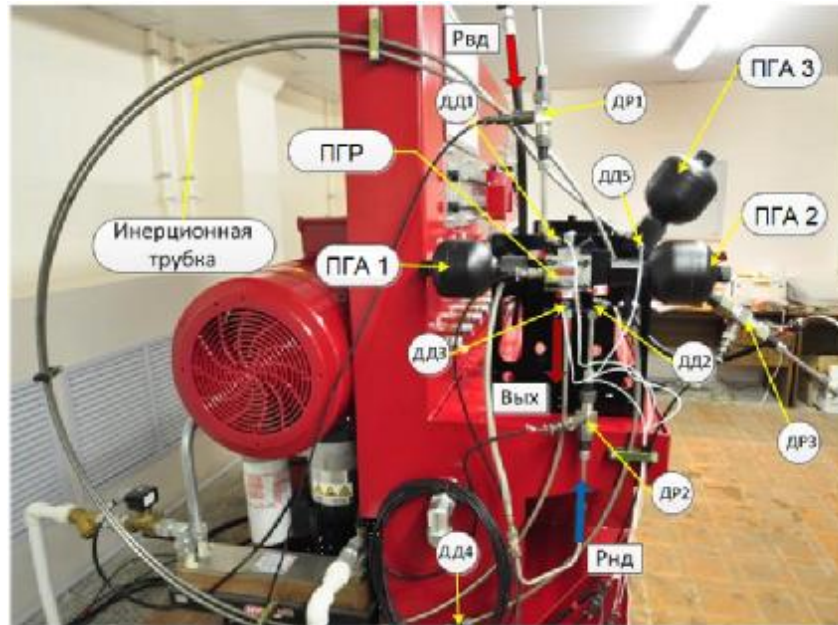
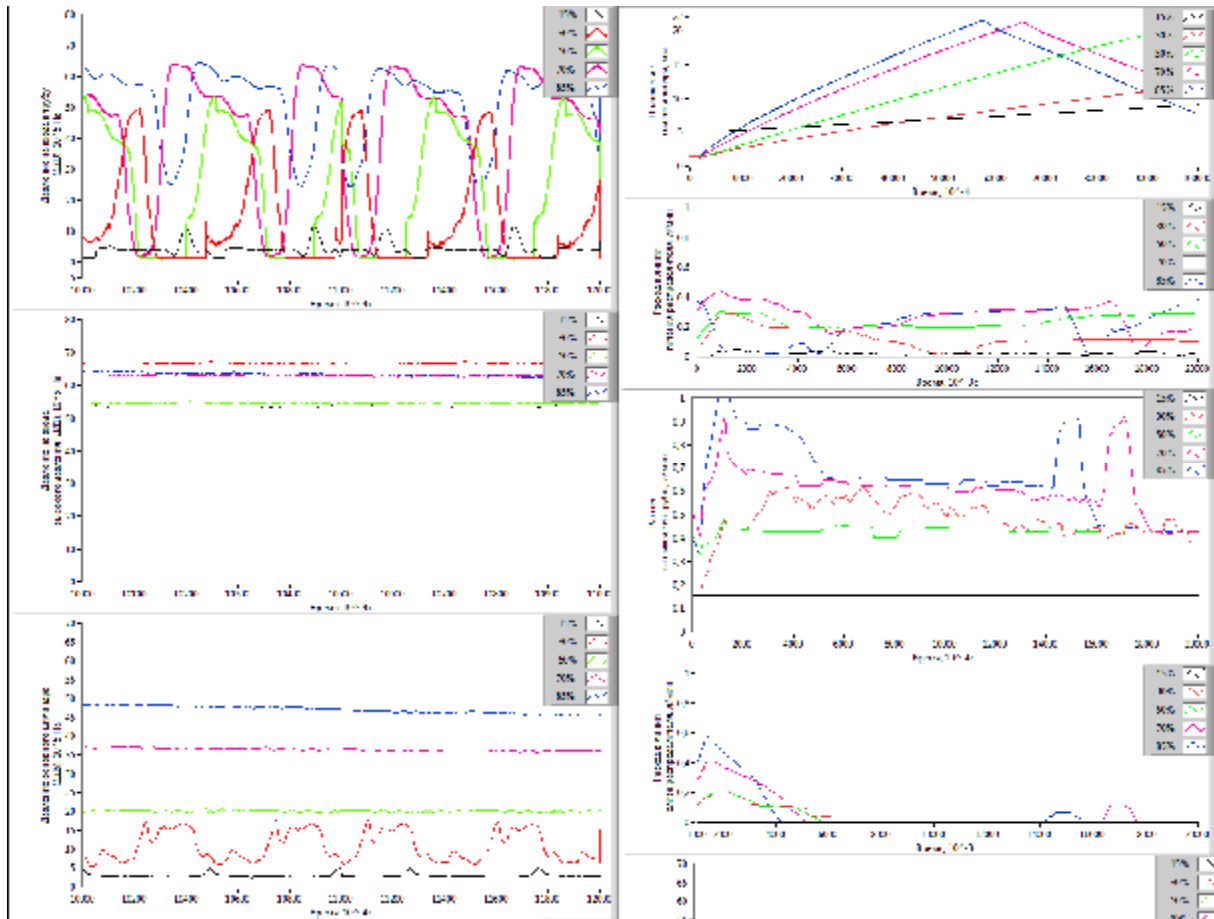


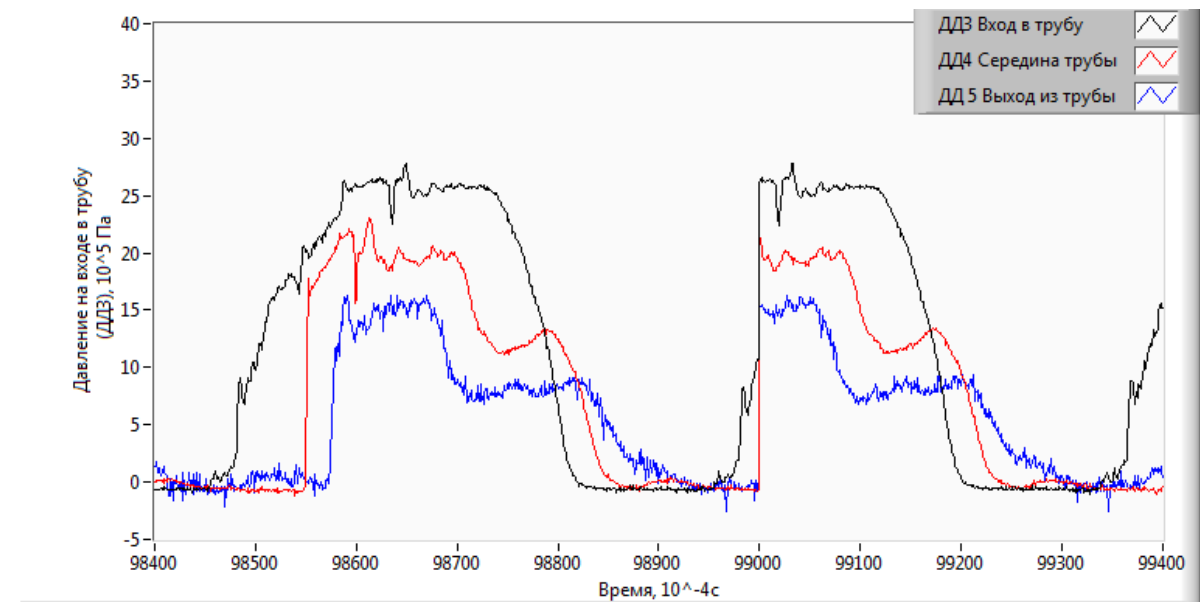
Рис. 3. Испытуемый гидропривод с дискретным регулятором потока в составе стенда:
 $P_{в0}$ – давление в напорной магистрали; $P_{нд}$ – давление в сливной магистрали; ДР1-ДР3 – датчики расхода;
 ДД1-ДД5 – датчики давления; ПГА1-ПГА3 – гидроаккумуляторы;
 ПГР – пропорциональный гидрораспределитель



Рис. 4. Структура программно-аппаратного комплекса управления стендом и сбора информации



а



б

Рис. 6. Фрагмент окна программы чтения результатов эксперимента (а) и осциллограмма давлений по длине инерционной трубки при частоте импульсов 20 Гц и коэффициенте заполнения импульса 80% (б)

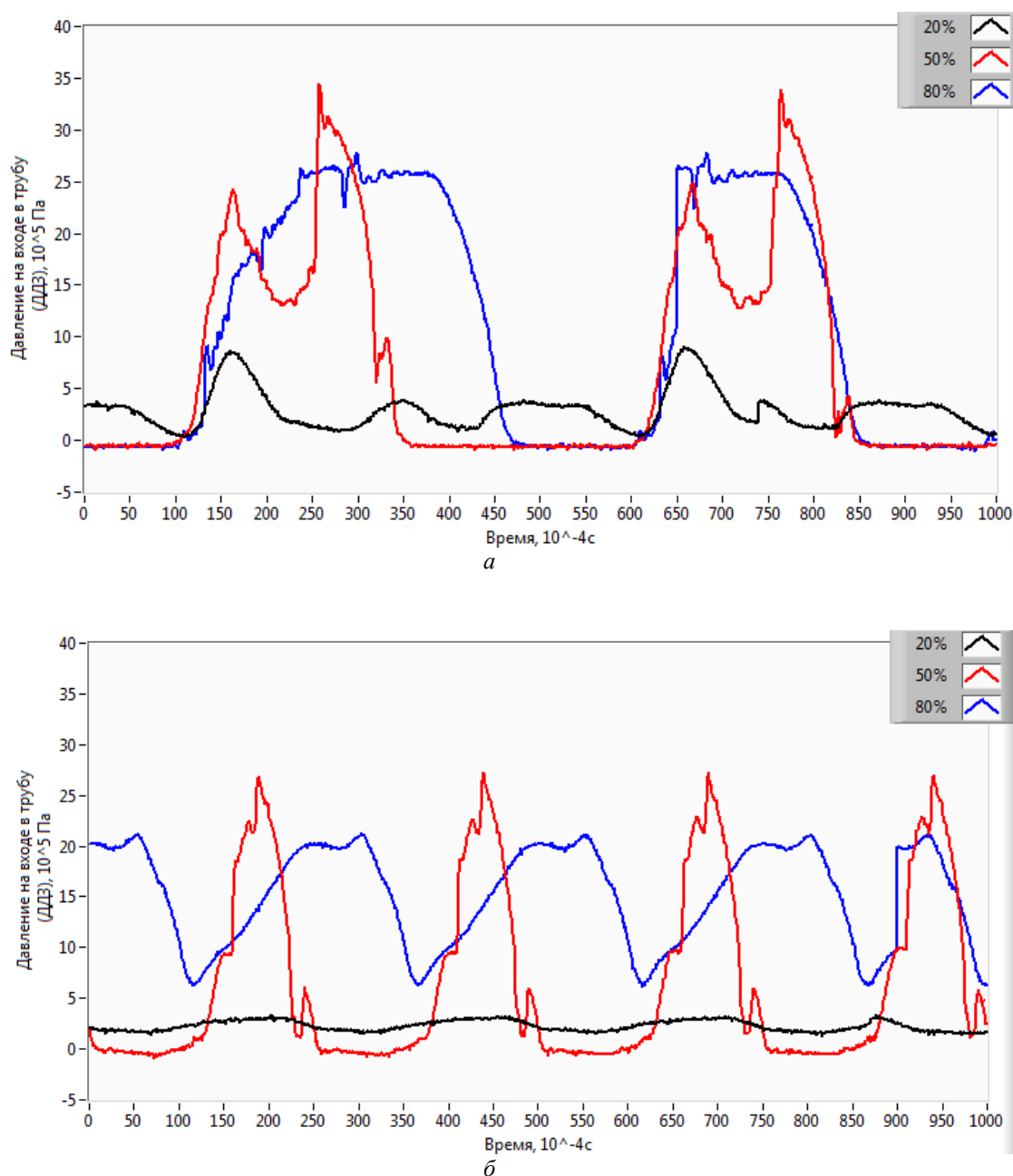


Рис. 7. Осциллограммы давления на входе в инерционную трубку при изменении коэффициента заполнения при частотах 20 Гц (а) и 40 Гц (б)

Из рис. 7 видно, что при большом значении коэффициента заполнения на частоте 40 Гц давление на входе инерционной трубки выше уровня, зафиксированного на малых частотах, при которых происходит подсос жидкости со сливной магистрали и увеличение КПД гидропривода. Этот факт качественно подтверждает результаты моделирования [4], указывающие на существование определённых параметров регулятора, при

которых реализуется максимальный КПД гидропривода.

Таким образом, разработано и изготовлено стендовое оборудование с программно-аппаратным комплексом управления и сбора информации для исследования статических и динамических характеристик гидроприводов с дискретным управлением. Экспериментальным исследованием гидропривода с дискретным регулятором потока жидкости и инерционной трубкой показаны возможности раз-

работанного стендового оборудования по исследованию влияния коэффициента заполнения и частоты импульсов на динамический процесс в гидроприводе. Экспериментальные исследования показали, что для определения энергетической эффективности гидропривода с дискретным регулятором необходимо применение датчиков, позволяющих определять мгновенный расход жидкости в пределах до 100 Гц.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы", тема: 2011-1.9-519-003-091.

Библиографический список

1. Brown, F.T. A hydraulic rotary switched-inertance servo-transformer [Text] / F.T. Brown, S.C. Tentarelli, S. Ramachandran. Trans. ASME, J. Dyn. systems, meas. & cont., 110(2), 1988, pp144-150.
2. Linjama, M. Energy Saving Digital Hydraulics. Proceedings of the Second Workshop on Digital Fluid Power [Text] / M. Linjama. Nov.12, 2009, Linz, Austria.
3. Johnston, D. N., A Switched Inertance Device for Efficient Control of Pressure and Flow, in Proceedings of the ASME [Text] / D. N. Johnston. Dynamic Systems and Control Conference, Hollywood, California, USA, 2009.
4. Математическое моделирование динамических процессов в гидроприводе с дискретным регулятором потока жидкости [Текст] / Е.В. Шахматов, А.Г. Гимадиев, В.Я. Свербиллов [и др.] // Вестн. СГАУ. – 2013. – №1(39).
5. Гидравлический стенд «Диагностика и идентификация гидросистем с комплектом оборудования» НР-R00381-01-11-0-00-000-0.0 [Текст]: техническое описание и инструкция по эксплуатации. Разработчик и изготовитель ООО«ХЮДАК Интернешнл»: Заводской №3255/08. – М.: ООО«ХЮДАК Интернешнл», 2008. – 66 с.
6. Блюм, П. LabVIEW: стиль программирования [Текст] / П. Блюм; пер. с англ.; под ред. Михеева П. / – М.: ДМК Пресс, 2008. – 400 с.

TEST RIG FOR A HYDRAULIC DRIVE UNDER SWITCHED INERTANCE CONTROL

© 2013 V. P. Shorin, V. Y. Sverbilov, A. G. Gimadiev, P. I. Greshniakov,
V. N. Ilyukhin, D. M. Stadnik

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The paper presents a test rig equipped with control, measuring and registration hardware for the examination of dynamics and power efficiency of a hydraulic drive with a digital flow controller as one of the most promising means of control. The results of experimental research of a hydraulic drive under digital control in the form of a switched inertance device are presented.

Hydraulic drive, testing equipment, control, measuring and registration hardware, digital flow controller, inertance tube, static and dynamic performance, research.

Информация об авторах

Шорин Владимир Павлович, доктор технических наук, академик РАН, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: shorin@ssc.smr.ru. Область научных интересов: динамика и регулирование пневмогидравлических систем, подавление пульсаций рабочей жидкости в трубопроводных цепях.

Свербиллов Виктор Яковлевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: v.sverbilov@mail.ru. Область научных интересов: динамика и регулирование пневмогидравлических систем, подавление пульсаций рабочей жидкости в трубопроводных цепях.

Гимадиев Асгат Гатятович, доктор технических наук, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: gimadiev_ag@mail.ru. Область научных интересов: динамика пневмогидравлических систем управления и контроля, гасители колебаний рабочей среды.

Грешняков Павел Иванович, аспирант кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: pavel.ssau@gmail.com. Область научных интересов: мехатроника, робототехника.

Илюхин Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: iwnik@yandex.ru. Область научных интересов: мехатроника и робототехника, динамические характеристики цифровых регуляторов.

Стадник Дмитрий Михайлович, аспирант кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: sdm-63@bk.ru. Область научных интересов: пневмогидравлические системы, динамика регуляторов давления газа.

Shorin Vladimir Pavlovich, doctor of engineering, professor, department of power unit control systems, academician of the Russian Academy of Sciences, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: shorin@ssc.smr.ru. Area of research: fluid power system dynamics and control, fluid born noise attenuation.

Sverbilov Viktor Yakovlevich, candidate of engineering, associate professor, department of power unit control systems, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: v.sverbilov@mail.ru. Area of research: fluid power system dynamics and control, fluid born noise attenuation.

Gimadiev Asgat Gatyatovich, doctor of engineering, professor, department of power unit control systems, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: gimadiev_ag@mail.ru. Area of research: fluid power systems dynamics and control, attenuators of fluid pressure ripples.

Greshnyakov Pavel Ivanovich, postgraduate student, department of power unit control systems, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Email: pavel.ssau@gmail.com. Area of research: mechatronics and robotics.

Iiukhin Vladimir Nicolayevich, candidate of engineering, associate professor, department of power unit control systems, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: iwnik@yandex.ru. Area of research: mechatronics and robotics, dynamic characteristics of digital regulators.

Stadnik Dmitry Mikhailovich, postgraduate student, engineer of the department of power unit control systems, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: sdm-63@bk.ru. Area of research: fluid power systems, dynamics of gas pressure control valves.