

УДК 621.002.5 : 62-83.001.6

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБЪЕМНОГО ГИДРОПРИВОДА

Рассказова Ю.Б.

## EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFECTIVENESS OF REGULATING OF VOLUME HYDRAULIC DRIVE

Rasskazova Yu.B.

*Представлен экспериментальный стенд и методика исследования эффективности способов регулирования выходного звена объемного гидропривода машиностроительного оборудования. Показано преимущество регулирования скорости изменением рабочего объема насоса.*

**Ключевые слова:** *машиностроительное оборудование, объемный гидропривод, объемный способ регулирования, дроссельный способ регулирования*

### Постановка проблемы

Современные ресурсосберегающие технологии в производстве и обработке материалов давлением в машиностроении предъявляют всевозрастающие требования к техническим и функциональным характеристикам технологического оборудования. Качество изделий при механической обработке во многом зависит от возможностей реализации оптимальных законов движения рабочих органов и заданных скоростей деформации в условиях переменной нагрузки. В этой связи важным является повышение точности и расширение функциональных возможностей приводов машиностроительного оборудования.

Достижение произвольной кинематики рабочих органов, возможность программной реализации оптимальных законов движения обеспечивается применением автоматических электрогидравлических приводов [1, 2]. В тоже время, уровень энергоэффективности современного машиностроительного оборудования не всегда отвечает требованиям ресурсосберегающих технологий. КПД автоматических электрогидравлических приводов энергоемкого оборудования (до 200 кВт), которое выпускается или используется отечественной промышленностью, остается низким, в ряде случаев не превышает 20-30%. Существует определенный резерв повышения эффективности приводов, а именно, их экономичности, функциональных возможностей, точности, в частности, уменьшения потребляемой

мощности за счет сокращения затрат энергии, связанных с процессом регулирования. Поэтому, актуальными являются исследования характеристик рабочих процессов при регулировании выходных параметров автоматических электрогидравлических приводов машиностроительного оборудования, влияния способов и методов регулирования на эффективность приводов.

### Анализ последних исследований и публикаций

Анализ основных способов регулирования скорости выходных звеньев объемных гидравлических приводов достаточно широко представлен в литературе [1 - 5]. Аналитические методы оценки показателей и характеристик процессов регулирования не получили широкого распространения в силу их сложности. Ввиду необходимости принятия существенных упрощений и допущений результаты расчетов являются приближенными и имеют значительную погрешность. Кроме того, полученные аналитически математические зависимости требуют проверки адекватности, которая может быть выполнена только на основе экспериментальных исследований.

Так как экспериментальные методы относительно просты и позволяют сравнительно быстро получить характеристики исследуемого объекта, они получили широкое распространение при оценке показателей эффективности автоматических электрогидравлических приводов [3, 4].

### Цель статьи

Целью работы является проведение экспериментальных исследований показателей и характеристик процессов регулирования скорости вращательного движения выходного звена объемного гидропривода машиностроительного оборудования, оценка эффективности способов регулирования скорости выходного звена.

**Материалы и результаты исследования**

Исследования показателей и характеристик процессов регулирования скорости вращательного движения выходного звена объемного гидропривода проводились на экспериментальном стенде, гидравлическая схема которого показана на рис. 1.

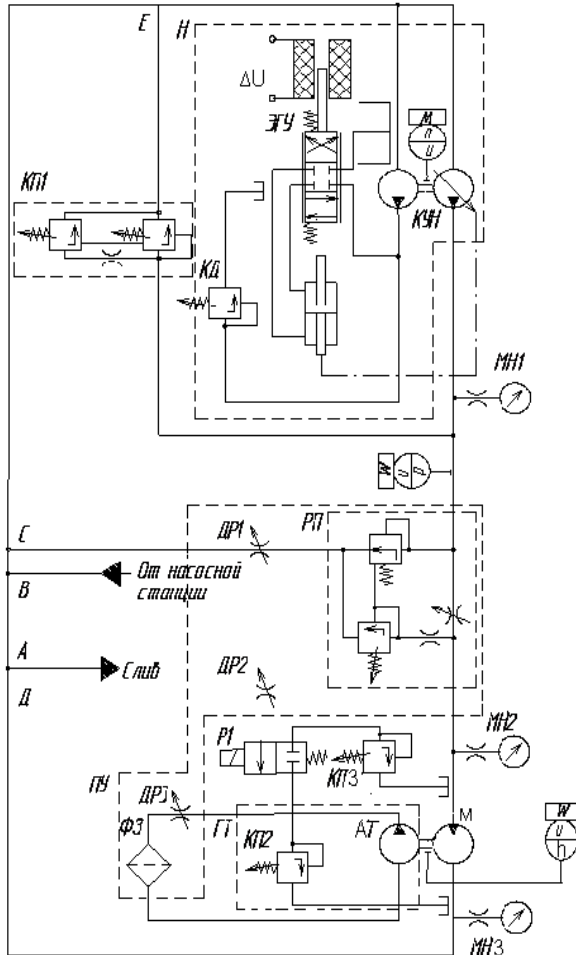


Рис.1. Гидравлическая схема экспериментального стенда

Экспериментальный стенд состоит из следующих узлов:

1. Насосная установка, включающая насос НАС, приводной электродвигатель, датчик частоты вращения, предохранительный клапан КП1 и динамометр.
2. Установка гидромотора М и гидротормоза ГТ с датчиком частоты вращения и динамометром.
3. Пульт управления ПУ, на котором установлены дроссели ДР1, ДР2, ДР3, регулятор потока РП, фильтр Ф3, манометры МН1, МН2, МН3, панели датчиков частот вращения и импульсов электросети и др.
4. Вспомогательная насосная станция типа Г48-32.
5. Система трубопроводов.
6. Система электропитания и управления.

Стенд имеет два гидравлических контура: контур испытуемого гидропривода с замкнутой циркуляцией жидкости и контур гидротормоза с разомкнутой циркуляцией жидкости.

Основной контур включает: насос НАС (типа НАС 0,04/20 с наибольшим рабочим объемом 0,04 л), гидромотор М (типа ПМ № 2,5 А с рабочим объемом 0,0317 л), дроссели ДР1 и ДР2 (типа Г77-1), регулятор потока РП (типа Г55-1), предохранительный клапан КП1 (типа Г52-1) и систему трубопроводов, связывающие эти узлы.

Установленный на стенде регулируемый аксиально-поршневой насос НАС включает: качающий узел насоса КУН, электрогидравлический усилитель (ЭГУ) 4WRE6 серия 10, вспомогательный пластинчатый насос НП для питания ЭГУ, клапан давления КД вспомогательного насоса.

При перемещении золотника ЭГУ в любое положение в пределах его хода поршень гидроцилиндра отслеживает это перемещение и изменяет положение регулирующего органа (шайбы) качающего узла насоса КУН, а значит, рабочий объем насоса, т.е. его подачу.

Частота вращения вала насоса гидромотора М может регулироваться:

1. Объемным способом – изменением положения регулирующего органа (шайбы) насоса НАС, а следовательно, его подачи с помощью ЭГУ.
2. Дроссельным способом – с помощью дросселя ДР2, установленного параллельно гидромотору М; дросселя на входе в гидромотор М (используется дроссель регулятора потока РП).

При объемном способе регулирования частоты вращения вала гидромотора М жидкость от качающего узла насоса КУН поступает в гидромотор М и далее проходит по системе низкого давления на вход качающего узла насоса КУН. Дроссели ДР1 и ДР2 должны быть закрыты, а дроссель регулятора потока РП полностью открыт, что исключает дополнительные объемные и гидравлические потери в гидроприводе.

При дроссельном способе регулирования жидкость от качающего узла насоса КУН идет через гидромотор М и переливается параллельно через дроссель ДР2 или золотник регулятора потока РП и дроссель ДР1, или предохранительный клапан КП1, в зависимости от режима испытаний (соответственно при регулировании дросселем ДР2, регулятором потока РП или дросселем регулятора РП как простым дросселем, установленным последовательно с гидромотором М). Далее потоки суммируются в узлах Д, С и Е.

Для питания основного контура охлажденной профильтрованной рабочей жидкостью служила вспомогательная насосная станция Г-48-32, не показанная на гидравлической схеме экспериментального стенда. Из основной магистрали (узел А) часть рабочей жидкости идет на слив, а по напорному трубопроводу вспомогательной насосной станции в узел В

основной магистрали подается отфильтрованная и охлажденная жидкость взамен жидкости, сливаемой из узла А, и утечек. Давление в основной системе на входе насоса НАС настраивалось предохранительным клапаном вспомогательной насосной станции.

Вал гидромотора М нагружался гидротормозом ГТ (гидромашинной типа ПМ № 5, работающей в режиме насоса). В контуре гидротормоза имелся дроссель ДР3 (типа Г77-1) для регулирования нагрузки, фильтр Ф3 (типа Г41), предохранительный клапан КП2 и бак БТ.

Для определения крутящих моментов при статических испытаниях на входе и выходе гидропривода (на валу насоса и мотора) статоры электродвигателя и гидротормоза были установлены в парах качения и удерживались от поворота рычагами, соединенными с динамометрами. По показаниям динамометров можно было рассчитывать указанные моменты. Кроме того, на стенде предусматривалась возможность измерения манометрами МН1, МН2, МН3 давлений на входе насоса НАС, входе и выходе гидромотора М, а также ртутным термометром температуры рабочей жидкости на входе в насос.

Состав контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратуры определялся теми параметрами, которые необходимо было измерять для расчета статических и динамических характеристик отдельных элементов и гидравлического привода в целом.

При статических испытаниях измерялись:

$\omega_n$ ,  $\omega$  – частота вращения валов насоса и мотора;

$M_n$ ,  $M_m$  – крутящий момент на валу насоса и мотора;

$P_n$ ,  $P_c$  – давления в линиях нагнетания и слива.

Частота вращения валов измерялась счетчиками импульсов типа СБ-1М/100 от электрической сети и датчика, установленного на валу машин. Погрешность определения частоты вращения при этом не превышала 2 %.

Как указывалось выше, крутящий момент на валу гидротормоза и насоса определялся с помощью динамометров

$$M = F_0 l, \quad (1)$$

где  $F_0$  – показания динамометра;  $l$  – плечо рычага.

На стенде использованы динамометры марки ДПУ-0.02-2, что обеспечило погрешность измерения момента с погрешностью не более 2 %.

Давления в системе измерялись манометрами типа МН класса точности 0,5, подключенными к трубопроводу через демпферы.

Определение эффективности объемного способа регулирования скорости выходного звена гидравлического привода осуществлялось

следующим образом. На экспериментальном стенде (рис. 1) закрывались дроссели ДР2 и ДР3 и полностью открывался дроссель регулятора потока. Производительность насоса регулировалась электрическим сигналом, подаваемым на ЭГУ.

Потребляемую мощность гидравлического привода находили по измеренным значениям момента на валу насоса  $M_n$  и частоты вращения насоса  $\omega_n$

$$N_n = M_n \omega_n. \quad (2)$$

Полезную мощность рассчитывали по значениям момента на валу гидромотора  $M_m$  и частоты вращения вала гидромотора  $\omega$

$$N_m = M_m \omega. \quad (3)$$

КПД гидравлической части привода определяли как

$$\eta = \frac{N_m}{N_n}. \quad (4)$$

В процессе экспериментов контролировался уровень давления в нагнетательной и сливной магистралях манометрами МН1 и МН2. Процедура повторялась при различных нагрузках, которые устанавливались дросселем гидротормоза ДР3. Каждый опыт повторялся несколько раз, причем последовательность их была рандомизирована, чтобы избежать влияния неучтенных факторов.

Исследование эффективности дроссельных способов регулирования (с дросселем на входе и параллельно двигателю) выполнялось следующим образом. В первом случае дроссели ДР3 и ДР2 были закрыты и изменение частоты вращения гидродвигателя осуществлялось дросселем регулятора потока. Во втором случае дроссель регулятора потока был полностью открыт, а регулирование осуществлялось дросселем ДР2 при полностью закрытом ДР1. Опыты выполнялись при постоянной (максимальной) производительности насоса. Изменялись те же параметры и определялись зависимости (4) от безразмерной частоты вращения вала гидромотора (т.е. от глубины регулирования)

$$\bar{\omega} = \omega / \omega_{\max}, \quad (5)$$

где  $\omega_{\max}$  – максимальная частота вращения.

Методика обработки опытных данных при проведении экспериментальных исследований достаточно полно изложена в литературе [6 – 9].

На рис. 2 показаны зависимости КПД от безразмерной частоты вращения при объемном (1) и дроссельном (2) способах регулирования. При дроссельном регулировании рассматривался случай установки дросселя на входе гидромотора. Анализ приведенных зависимостей показывает преимущество регулирования скорости изменением рабочего объема насоса.

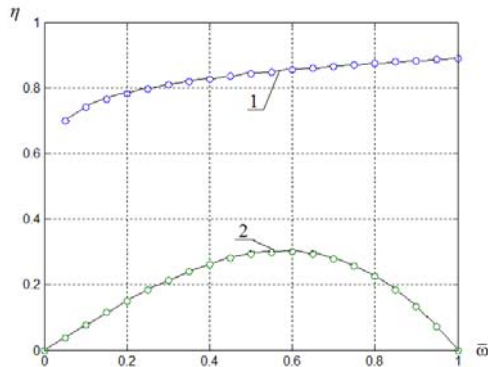


Рис. 2. Зависимость КПД привода от глубины регулирования

### Выводы

Представлен стенд для проведения экспериментальных исследований эффективности способов регулирования скорости вращательного движения выходного звена объемного гидропривода, рассмотрена методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных. Сравнением экспериментальных зависимостей КПД от глубины регулирования показано преимущество регулирования скорости изменением рабочего объема насоса.

### Литература

1. Андрийчук Н.Д. Гидравлика и гидропневмоприводы / Н.Д. Андрийчук, А.В. Вялых, А.А. Коваленко, Я.И. Мальцев, В.И. Ремень, В.И. Соколов. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2008. – 320 с.
2. Федоренко В.А. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков / В.А. Федоренко, М.Н. Педченко, А.Ф. Пичко, Ю.В. Пересадыко, В.С. Лысенко. – К.: Вища шк., 1987. – 375 с.
3. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов. – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.
4. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. – М.: Машиностроение, 1987. – 464 с.
5. Соколов В.И. Моделирование силовой части автоматического электрогидравлического привода с объемным регулированием / В.И. Соколов, Н.Г. Азаренко, Я.В. Соколова // Вісн. Східноукр. націон. ун-ту ім. В. Даля. – 2012. - № 12 (183). - Ч.1. – С. 260 - 270.
6. Коваленко А.О. Основи наукових досліджень (планування експериментів) / А.О. Коваленко, А.С. Роговий, Д.О. Сьомін. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2011. – 216 с.
7. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1981. – 520 с.

8. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 274 с.
9. Лудченко А.А. Основы научных исследований / А.А. Лудченко, Я.А. Лудченко, Т.А. Примак. – К.: Знання, 2000. – 114 с.

### References

1. Andrijchuk N.D. Gidravlika i gidropnevmoприводы / N.D. Andrijchuk, A.V. Vjalyh, A.A. Kovalenko, Ja.I. Mal'cev, V.I. Remen', V.I. Sokolov. – Lugansk: VNU im. V. Dalja, 2008. – 320 s.
2. Fedorec V.A. Gidроприводы i gidropnevmoавтоматика станков / V.A. Fedorec, M.N. Pedchenko, A.F. Pichko, Ju.V. Peresad'ko, V.S. Lysenko. – K.: Vishha shk., 1987. – 375 s.
3. Navrockij K.L. Teorija i proektirovanie gidro- i pnevмоприводов. – M.: Mashinostroenie, 1991. – 384 s.
4. Popov D.N. Dinamika i regulirovanie gidro- i pnevмосистем. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 464 s.
5. Sokolov V.I. Modelirovanie silovoj chasti avtomaticheskogo jelektrogidравлического привода s ob'emnym regulirovaniem / V.I. Sokolov, N.G. Azarenko, Ja.V. Sokolova // Visn. Shidnoukr. nacion. un-tu im. V. Dalja. – 2012. - № 12 (183). - Ch.1. – S. 260 - 270.
6. Kovalenko A.O. Osnovi naukovih doslidzhen' (planuvannja eksperimentiv) / A.O. Kovalenko, A.S. Rogovij, D.O. S'omin. – Lugansk: SNU im. V. Dalja, 2011. – 216 s.
7. Dzhonson N. Statistika i planirovanie jeksperimenta v tehnikе i nauke: Metody planirovanija jeksperimenta / N. Dzhonson, F. Lion. – M.: Mir, 1981. – 520 s.
8. Adler Ju.P. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij / Ju.P. Adler, E.V. Markova, Ju.V. Granovskij. – M.: Nauka, 1971. – 274 s.
9. Ludchenko A.A. Osnovy nauchnyh issledovanij / A.A. Ludchenko, Ja.A. Ludchenko, T.A. Primak. – K.: Znanija, 2000. – 114 s.

### Рассказова Ю.Б. Экспериментальні дослідження ефективності регулювання об'ємного гідроприводу.

Представлений експериментальний стенд та методика дослідження ефективності способів регулювання швидкості вихідної ланки об'ємного гідроприводу машинобудівного обладнання. Показана перевага регулювання швидкості зміною робочого об'єму насоса.

**Ключові слова:** машинобудівне обладнання, об'ємний гідропривід, гідромотор, об'ємний спосіб регулювання, дросельний спосіб регулювання.

### Rasskazova Yu.B. Experimental studies of the effectiveness of regulating of volume hydraulic drive.

An experiment stand and study of the effectiveness of different methods of adjusting the speed of output unit of volume hydraulic drive of engineering equipment is presented. The advantage of controlling the speed of change of the pump's working volume is showed.

**Key words:** engineering equipment, hydrostatic drive, hydraulic pump, the volumetric method of control, throttle control method.

**Рассказова Ю.Б.** – інженер кафедри машинобудування, верстатів та інструментів Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

Рецензент: **Соколов В.И.**, д.т.н., професор

Статья подана 10.11.2015.