

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРОМЕХАНИЧЕСКИМ СТЕНДОМ, МОДЕЛИРУЮЩИМ ОБЪЕМНЫЙ ГИДРОПРИВОД СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ

*Е.В. Мельников<sup>1</sup>, Р.А. Клинов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Самарский государственный технический университет  
443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

<sup>2</sup> Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева  
443086, г. Самара, Московское ш., 34

E-mail: mev1234567890@mail.ru

*Рассмотрен экспериментальный электрогидромеханический стенд, моделирующий объемный гидропривод судоходного шлюза. Описана система управления стендом. Приведены экспериментальные данные по результатам исследований. Предложен метод комбинированного управления объемным гидроприводом, уменьшающий ударные нагрузки на оборудование шлюза и повышающий КПД гидросистемы.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, объект с распределенными параметрами, судоходный шлюз, управляющее воздействие, комбинированная система управления гидроприводом.

В настоящее время производится большой комплекс работ по реконструкции судоходных гидротехнических сооружений (СГТС). Основная часть СГТС в России была построена в середине прошлого века и в настоящее время выработала свой ресурс. Реконструкции подлежат как строительные элементы СГТС, так и системы контроля и управления.

Первоначально в качестве приводов подвижных элементов СГТС использовались механические лебедки. В настоящее время идет массовая замена механического привода на электрогидравлический. При этом возникает целый ряд вопросов, связанных с выбором метода управления приводом, контролем его технологических параметров и текущего состояния. Наибольшую сложность при автоматизации представляют подъемно-опускные ворота шлюзов, упрощенная модель которых представлена на рис. 1.

Ворота представляют собой сварную конструкцию весом до 450 т, шириной 30 м и высотой 15 м. Подъем и опускание ворот производится двумя гидроцилиндрами, находящимися на разных устоях шлюза, причем опускание ворот производится под их собственным весом, а подъем – путем подачи жидкости в подштоковую полость гидроцилиндра. Для синхронизации сторон ворот используются управляемые гидродроссели, сливающие жидкость, и управляемые гидронасосы. Максимальный перекосяк сторон ворот не должен превышать 60 мм, иначе происходит заклинивание ворот. Для контроля положения сторон ворот используются угловые энкодеры, механически связанные со сторонами ворот.

Динамика ворот шлюза описывается уравнениями поступательного движения поршней гидроцилиндров под действием сил давления, внешней нагрузки, сил трения и уравнениями расходов на входе  $P_i (P^i)$  и выходе  $P^j (P^{j'})$  с учетом сжимаемости

---

*Евгений Владиславович Мельников (к.т.н., доцент), доцент кафедры «Информационно-измерительная техника».*

*Роман Александрович Клинов, ведущий инженер-конструктор.*

жидкости в полостях цилиндра. Нелинейность движения ворот вызвана сжимаемостью жидкости и упругостью металлоконструкций ворот, нелинейными характеристиками трения в гидроцилиндрах и направляющих ворот, а также нелинейной характеристикой управляемых гидродросселей.

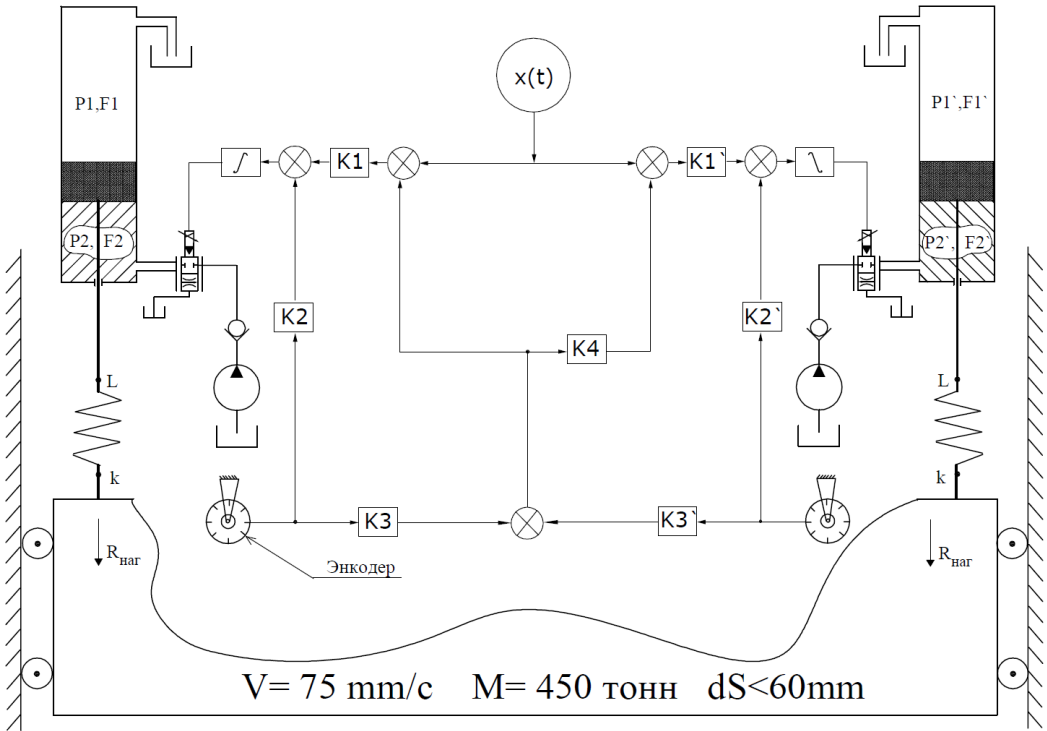


Рис. 1. Упрощенная модель ворот с функциональной схемой управления

В функциональной схеме управления приводом ворот (рис. 1) коэффициент  $K1$  ( $K1'$ ) описывает суммарный коэффициент податливости всех полостей, подключенных к напорной линии, который зависит от давления.

$K2$  ( $K2'$ ) и  $K3$  ( $K3'$ ) – коэффициенты передачи соответствующих каналов функциональной схемы,  $K4$  является коэффициентом неоднородности гидросистем сторон ворот.

Оптимальные программы перемещения ворот в различных технологических операциях предусматривают движение с непрерывно изменяющимися скоростями, т. е. в динамических режимах. Эффективность управления гидроприводом определяется динамической устойчивостью системы в целом и точностью воспроизведения программного режима. Так как коэффициенты системы  $K1$  ( $K1'$ ) –  $K4$  ( $K3'$ ) управления зависят от конструкции гидропривода, было принято решение произвести натурную реализацию гидропривода шлюза в масштабе 1:5. Ввиду большой стоимости оборудования была реализована только одна гидросистема [2], представляющая собой силовой механизм, состоящий из неподвижной станины и поворотного водила, к которому подсоединены рабочий и нагрузочный гидроцилиндры. Переменные давления в полостях нагрузочного гидроцилиндра моделируют внешнее усилие на ворота, вызванное трением, волновой и ветровой нагрузкой. Такая схема реализации

гидропривода позволяет моделировать гидросистемы подъемных и распашных ворот СГТС.

Структурная схема системы контроля и управления гидропривода приведена на рис. 2.

Система управления состоит из следующих элементов:

1) силовой шкаф, в котором установлены частотный преобразователь (ПЧ) и устройство плавного пуска (УПП), попеременно подключаемые к асинхронному электродвигателю гидронасоса. Также в силовом шкафу смонтирована система измерения электрических параметров электродвигателя;

2) основной шкаф управления, к которому подключены датчики Д1...Дn и исполнительные механизмы;

3) шкаф моделирования нагрузок, к которому подключены тензорезисторы, измеряющие деформации станины стенда, возникающие при приложении нагрузки;

4) управляющий компьютер;

5) асинхронный трехфазный электродвигатель с подсоединенным гидронасосом.

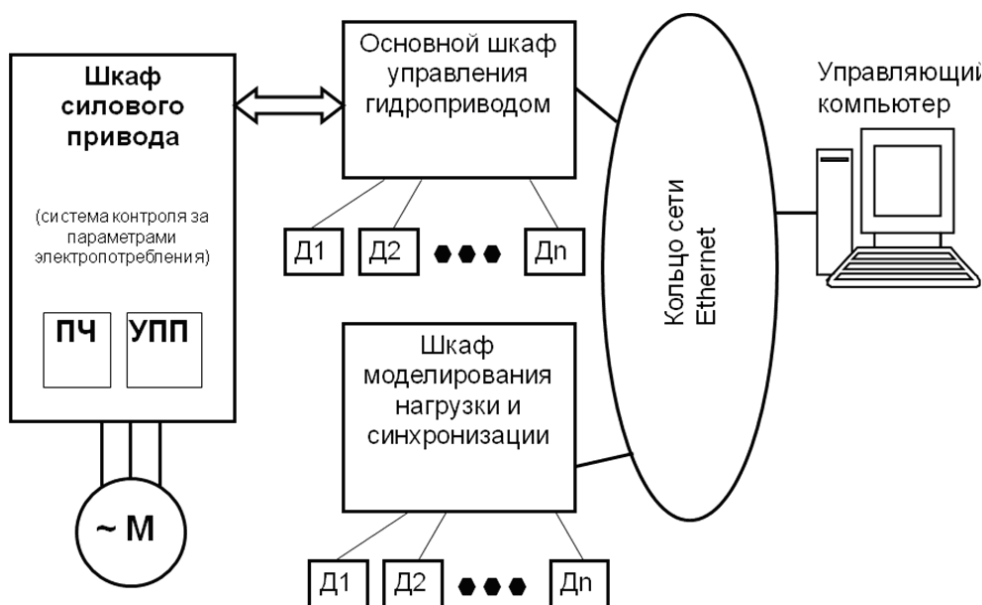


Рис. 2. Система контроля и управления гидроприводом

Все контроллеры и управляющий компьютер объединены в единое кольцо сети Ethernet, используется оборудование фирмы Schneider Electric.

При необходимости количество контролируемых параметров может быть легко увеличено путем добавления требуемых модулей в систему.

В табл. 1 и 2 приведены технические характеристики системы управления и контроля параметров экспериментального стенда и перечень установленных в данный момент на стенде датчиков.

**Технические характеристики системы управления и контроля параметров  
экспериментального стенда**

Параметр	Количество точек контроля и управления
Дискретный вход (24В)	32
Дискретный выход (релейный)	8
Аналоговый управляющий выход 4-20мА	4
Аналоговый вход 4-20мА, 0-10 В	16
Быстродействующие счетчики для подключения инкрементальных энкодеров	4
Каналы измерения температуры	8
Модули для подключения тензорезисторов	2
Интерфейсы для подключения интеллектуальных датчиков	2
Контроль параметров энергопотребления	18

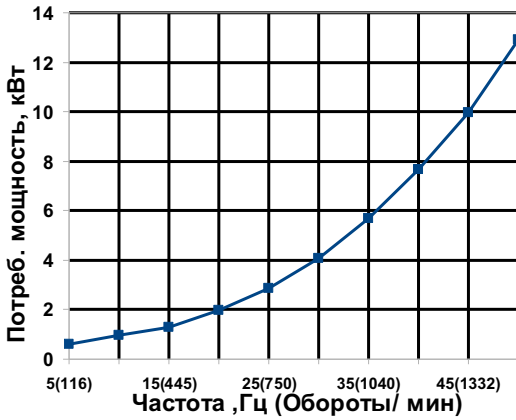
Таблица 2

**Перечень установленных в данный момент на стенде датчиков**

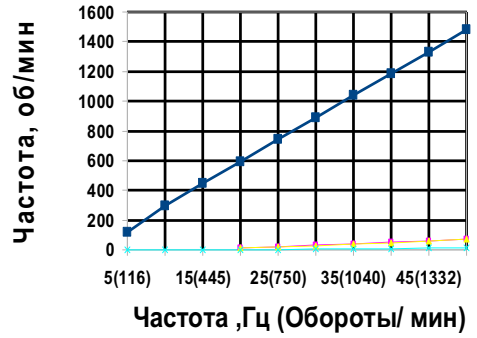
Тип измеряемого параметра	Кол-во	Точность, %
Датчики давления аналоговые	6	0,5
Электроконтактный манометр	1	1
Датчики температуры	4	0,1
Тензодатчики	2	1
Датчики расхода	2	0,5
Датчик линейного перемещения	1	0,1
Датчик поворота водила	4	0,1
Датчик уровня масла в баке	1	3 положения

Ниже приведены экспериментальные данные, полученные на стенде. Исследования проводились при изменении частоты питающего напряжения асинхронного электродвигателя гидронасоса от 20 до 50 Гц. При снижении частоты питания электродвигателя до 7 Гц происходит его останов. На рис. 3 приведены зависимости изменения потребляемой мощности, оборотов, крутящего момента на валу электродвигателя, производительности насоса и КПД гидросистемы.

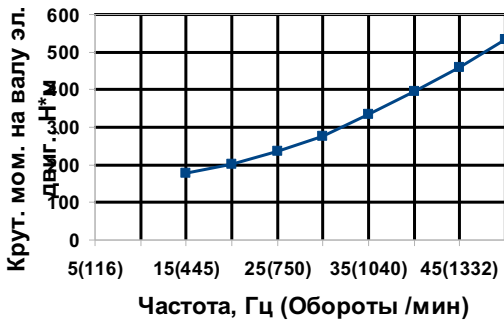
Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать следующий предварительный вывод: нагрузка на внешнем контуре имеет явно выраженный нелинейный характер с максимальными значениями в начале подъема ворот.



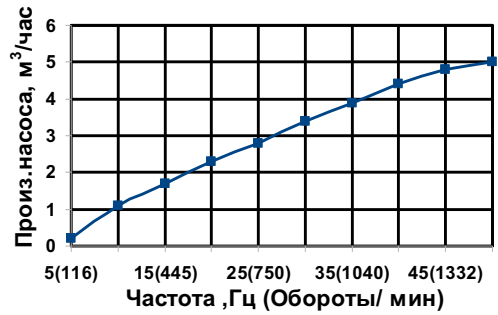
а



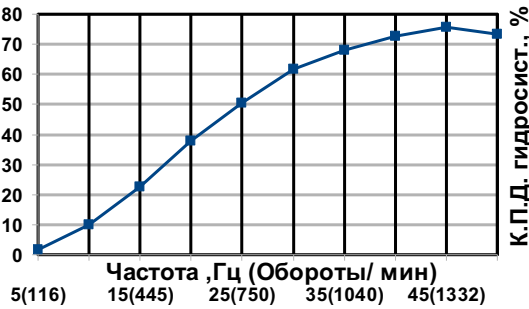
б



в



г



д

Рис. 3. Экспериментальные зависимости параметров гидросистемы питания комплекса при частотном регулировании:

а – потребляемая мощность, б – обороты электродвигателя, в – крутящий момент на валу электродвигателя, г – подача насоса, д – КПД гидросистемы

При чисто частотном регулировании параметров гидросистемы при положительном эффекте снижения расхода рабочей жидкости и энергопотребления отмеча-

ются следующие недостатки: уменьшается крутящий момент электродвигателя, что может привести к перегрузке или остановке гидропривода, снижается КПД насоса и гидросистемы в целом, увеличивается температура рабочей жидкости.

Нелинейность статических характеристик во внешних и внутреннем контурах гидропривода может привести к нестабильному перемещению ворот, ухудшению динамических характеристик (устойчивости, быстродействия, точности регулирования и др.). Пульсационная составляющая внешней нагрузки на ворота (порывы ветра, изменение направления ветровой нагрузки, волна от работающих судовых двигателей) является существенно дестабилизирующим фактором и приводит к осложнению частотной системы регулирования.

В работе предложена схема системы подъема ворот, при которой дроссельная система должна работать в начале цикла подъема ворот, когда требуются очень низкие подачи рабочей жидкости в гидроцилиндр при высоком давлении (отрыв ворот от основания). Частотная система должна использоваться для выполнения заданного технологического режима, синхронизации, в том числе при возникновении пульсационных нагрузок.

Предполагается, что применение совмещенной системы регулирования в составе дроссельного и частотного регулятора повысит показатели качества регулирования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев Г.В., Лобанов Р.Б., Немировский И.А. Синтез параметров программно управляемого гидропривода затвора судоходного шлюза // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. Вып. 13. – М.: Машиностроение, 1987. – С. 35-42.
2. Морозов В.Н., Краснощеков И.Л., Красинский Д.Б., Мельников Е.В. Об организации исследований в области создания перспективных электрогидравлических приводов механического оборудования СГТС // Гидротехника 21 век. – 2012. – №2 май. – С. 26-30.

*Статья поступила в редакцию 9 июля 2012 г.*

## THE CONTROL SYSTEM FOR AN ELECTRICAL HYDROMECHANICAL STAND SIMULATING A THREE-DIMENSIONAL HYDRAULIC GEAR OF A SHIP LOCK

*E.V. Melnikov<sup>1</sup>, R.A. Klinov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

<sup>2</sup> S.P. Korolyov Samara State Aerospace University  
34, Moskovskoye sh., Samara, 443086

*The experimental electrical hydromechanical stand simulating a three-dimensional hydraulic paddle gear of a ship lock is discussed. The stand control system is described. The experimental results data are given. A method for the combined control of the three-dimensional hydraulic paddle gear is proposed which reduces shock loads on the ship lock equipment and increases the efficiency of the hydraulic system.*

**Keywords:** *mathematical modeling, an object with distributed parameters, navigation lock, the control action, combined hydraulic control system.*

---

*Evgeny V. Melnikov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Roman A. Klinov, Engineer.*