УДК 626.423

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ГИДРОПРИВОДОВ СУДОХОДНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

© 2016 В.Н. Морозов 1 , И.Л. Краснощеков 1 , Д.Б. Красинский 2 , Л.А. Павлович 2 , И.Л. Павлович 2 , Е.В. Мельников 2 , Р.А. Клинов 1

 1 OOO «Техтрансстрой», г. Самара 2 Самарский государственный аэрокосмический университет

Статья поступила в редакцию 24.03.2016

В статье рассматриваются конструктивные, производственные и эксплуатационные особенности гидропривода судоходных гидротехнических сооружений (в том числе геометрические и массовые параметры гидропривода, единичное производство, окончательная сборка и доводка гидропривода в условиях эксплуатации и т.д.), их статические и динамические характеристики. Представлены современные методы контроля, с использованием современной экспериментальной базы. Описаны разработанные инновационное устройство для имитации внешних нагрузок при испытании элементов гидропривода, имитации изменения параметров рабочей жидкости при испытании элементов гидропривода.

Ключевые слова: испытание, гидропривод, гидротехнические сооружения, судоходный шлюз, частотно-дроссельное регулирование

При модернизации и разработке новых судоходных гидротехнических сооружений отраслевой нормативной документации, например, Свод правил СП-101.13330.2012 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные соружения» [1] для шлюзов I и II классов предусматривается проведение научных и расчетных исследований. В частности, необходимо проведение расчетов статических и динамических характеристик приводов для перемещения основных (эксплуатационных), ремонтных и аварийно-ремонтных ворот и затворов. Применение автоматизированных систем управления судопропуском через судоходные гидротехнические соружения (рис. 1) требует проведение работ, связанных с обеспечением синхронизации и взаимоувязки, выполнение технических операций судопропуска в условиях требований повышения пропускной способности шлюза и технической безопасности.

Морозов Виктор Николаевич, кандидат технических наук, генеральный директор. E-mail: ttstroy@tts63.ru

Краснощеков Игорь Леонидович, кандидат технических наук, главный инженер. E-mail: ttstroy@tts63.ru

Красинский Дмитрий Борисович, кандидат технических наук, заведующий НИЛ-57. E-mail: sstend@mail.ru

Павлович Лев Анатольевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Павлович Игорь Львович, ведущий инженер. E-mail: $i \ g \ o \ r \ ip@mail.ru$

Мельников Евгений Владиславович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Клинов Роман Александрович, инженер-конструктор

Анализ перспективных гидроприводов для перемещения ворот и затворов, разработанных и эксплуатируемых на отечественных и зарубежных судоходных гидравлических сооружениях, показал достаточно большое их разнообразие (гидроприводы с частотно-дроссельной системой управления, машинно-дроссельной системой управления, гидроприводы с адаптивной системой управления и т.д.) [2]. Общими характерными техническими параметрами гидропривода, подлежащие рассмотрению на этапе проектирования, являются габаритные размеры, масса, потребляемая мощность, скорость перемещения штока

гидроцилиндра при заданном типе затвора и т.д. В табл. 1 для примера приведены некоторые технические характеристики приводов, примененных на Чебоксарском гидроузле [3].

Применительно к стадии производства и учитывая особенности по крупногабаритным размерам и большой массе элементов гидропривода при проектировании следует исходить из особенностей индивидуального производства, при котором окончательная сборка и доводка гидропривода осуществляется непосредственно на объекте эксплуатации. При этом всегда существуют производственные риски не достижения планируемых показателей и увеличения инвестиционных рисков, связанных с дополнительными затратами на доводку, техническое обслуживание и ремонт, и потери выгоды от эксплуатации судоходных гидротехнических сооружений в связи с их возможным простоем. На этапе эксплуатации гидравлического привода с адаптивной системой управления при перемещении ворот двумя и более независимыми гидроприводами возникают достаточно сложные вопросы синхронизации перемещения штоков гидроцилиндров, изменения их скоростей движения из-за влияния внешних гидродинамических факторов, темпера-туры окружающей среды состояния рабочей жидкости гидропривода. Вводятся дополнительные требования по защите основных ворот от навала судна, скорости наполнения шлюзовой камеры и т.д. На этапе технического обслуживания и ремонта целесообразно использование специальной диагностики (в том числе встроенной в гидропривод), что позволить сократить сроки выполнения технического обслуживания и ремонта, трудоемкость этих работ и финансовые затраты.

В настоящее время активно разрабатываются вопросы математического моделирования рабочих процессов гидропривода с автоматической системой управления. Анализ опубликованных работ показал следующее. Разработанные математические модели для многомашинного гидропривода насос-моторный объемной синхронизацией перемещения штока гидроцилиндра даже при условии постоянства модуля упругости рабочей жидкости и неразрывности потока

приводят к сложной системе дифференциальных уравнений, которая при дополнительных достаточно грубых допущениях может быть преобразована к

форме Коши, включающей в себя двадцать четыре уравнения первого порядка.



Рис. 1. Судоходный шлюз

Таблица 1. Характеристики используемых приводов и затворов на судоходных сооружениях Чебоксарского гидроузла

	Место установки	Технические показатели привода и затвора			
Nº		габаритные	вес	характеристики	тип затвора.
		размеры	привода, т	гидроприводов:	габаритные
		привода, м		раб. давл., диам.,	размеры, м
				рабочий/полный	Вес, т
				ход штока, мм	
1.	Верхняя голова.	4,2×4,2×2,2		90 кг/см ²	Плоский
	Аварийно-ремонтные	4,2^4,2^2,2 2 шт.	46,2	250	35,2×3,7×8,8
	ворота	2 ш1.		5350/8500	256
2.	Верхняя голова.			95 кг/см ²	Плоский
	Основные опускные	$3,2 \times 3,4 \times 2,2$	26,6	160	35,2×3,7×7,3
	ворота			4600/8500	210
3.	Нижняя голова.				Двустворчаты
	Основные	рота 6,4×2,2×1,8	66,9	80 кг/см² 5100/5100	е ворота
	двустворчатые ворота				ригельные
					2 ств. по
					352

Поэтому приобретает важное значение разработка эффективных методов, основанных на математической модели, сочетающихся с экспериментальными исследованиями на физических моделях с получением ударной диаграммы (метод переходных характеристик. Наличие предварительной ударной диаграммы для гидропривода с устройством ступенчатого нагружения штока гидроцилиндра позволяет использовать этот метод для встроенной диагностики гидропривода в процессе эксплуатации без разборки гидропри-вода [4].

Актуальными становятся вопросы, связанные с модернизацией, экспериментальной базой испытания гидроприводов и их элементов в заводских и лабораторных условиях, в том числе при моделировании технологических режимов испытаний, максимально соответствующим эксплуатационным. Государственными документами (в частности, ГОСТ 18464-96 Гидроприводы объемные. Гидроцилиндры правила приемки и методы испытаний) предусматривается проведение стендовых испытаний в процессе производства, в том числе под нагрузкой. Принципиальная гидравлическая

схема стенда приведена на рис. 2.

Особенность испытания гидропривода с поршневым цилиндром для судоходных гидротехнических сооружений состоит в том, что при такой схеме реализации внешних нагрузок за счет нагрузочного гидроцилиндра 2 не удается получить заданные ступенчатые или синусоидальные нагрузки на испытуемый гидроцилиндр 1 и проконтролировать динамические характеристики гидроцилиндра. При пуске возникает гидравлический удар в гидравлических системах обоих гидроцилиндрах. С целью реализации ступенчатых или синусоидальных нагрузок на испытуемый гидроцилиндр в ООО «Техтрансстрой» был разработан, изготовлен и передан с СГАУ для проведения научных исследований и отработки экспериментальных образцов гидроприводов судоходных гидротехнических сооружений моделирующий комплекс 100-КЭ [5]. В моделирующем комплексе 100-КЭ при его разработке использованы инновационные решения по гидравлической схеме нагрузочного гидроцилиндра и способу проведения испытаний [6], [7].

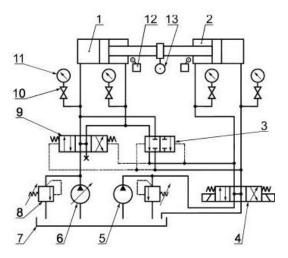


Рис. 2. Схема стенда для испытания гидроцилиндров на функционирование под нагрузкой, герметичность по штоку, толкающую и тянущую силу на штоке, скорость поршня (плунжера), общий и механический КПД, ресурс, наработку до отказа, торможение:

1 – испытуемый гидроцилиндр; 2 – нагрузочный гидропилиндр: 3 – двухпозиционный гидроаспределитель с гил-

1 – испытуемый гидроцилиндр; 2 – нагрузочный гидроцилиндр; 3 – двухпозиционный гидрораспределитель с гидравлическим управлением; 4 – трехпозиционный гидрораспный насос; 6 – насос привода; 7 - гидробак; 8 – предохранительный гидроклапан; 9 – трехпозиционный гидрораспределитель с гидравлическим управлением; 10 – кран-демпфер; 11 – манометр; 12 – выключатель; 13 – динамометр

Проведенные исследования и отработка ряда схем гидроприводов позволило разработать инновационную технологию запуска гидропривода под на-

грузкой на судоходном шлюзе [8]. Экспериментальный образец гидропривода с автоматизированной частотно-дроссельной системой управления, реализующий данную техно-логию, установлен на Балаковском РГСиС и успешно эксплуатировался, по согласованию с ФБУ «Администрация Волжского бассейна», в навигации 2013-2015 гг. Осуществлено шлюзований:

- за период с 10.09.2013 г. по 29.11.2013 г. было проведено 1092 шлюзования и пропущено 1115 судов и составов;
- за период с 07.04.2014 г. по 02.12.2014 г. количество проведенных на шл. № 26 шлюзований составило 3485, пропущено 5725 судов и составов;
- по состоянию на 8:00 час. 06.07.2015 г., в ходе навигации 2015 г. проведено еще 773 шлюзования.

В процессе эксплуатации данного образца отмечено существенное снижение гидравлических ударов в гидросистеме Р (рис. 3), уменьшен перекос подъемно отпускных ворот при их перемещении в 5 раз. Однако данное конструктивное решение моделирующего комплекса 100-КЭ не позволяет оценить характеристики динамические при заданных ступенчатых и синусоидальных нагрузках, создаваемых нагрузочным гидроцилиндром, в связи с чем моделирующий комплекс 100-КЭ был модернизирован. Модернизация комплекса заключалась в следующем. В комплексе для динамических испытаний цилиндров параллельно существующей гидролинии для слива рабочей жидкости из нагрузочного гидроцилиндра включен дополнительный пропорциональный гидродроссель с электроуправлением и быстродействующего запорный клапан с электроуправлением рис. 4.

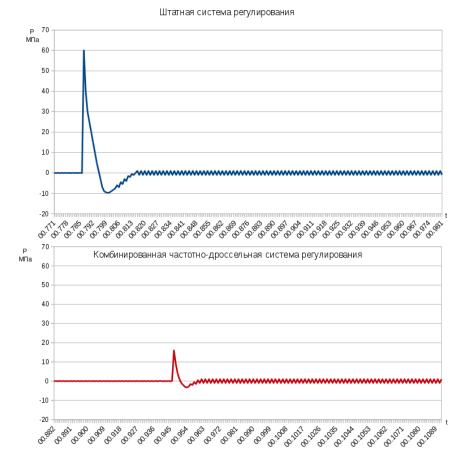


Рис. 3. Гидроудар при штатной и частотно-дроссельной системы регулирования

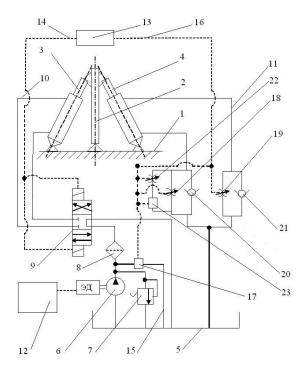


Рис. 4. Схема модернизированного моделирующего комплекса:

1 - рама, 2 - рычаг, 3 - испытуемый гидроцилиндр, 4 - нагрузочным гидроцилиндр, 5 - бак с рабочей жидкостью, 6 - насос, 7 - предохранительный клапан, 8 - фильтр, 9 - гидрораспределитель, 10, 11 - соединенные гидролинии, 12 - силовой электроблок, 13 - измерительно-управляющий блок, 14 - электролинии, 15 - дополнительную гидролинию, 16 - дополнительную электролинию, пропорциональные гидродроссели 17, 18, 19, 22 с электроуправлением, 20, 21 обратные клапаны, 23 - быстродействующий запорный клапан

Испытания проводятся следующим образом. Включается питание измерительно-управляющего блока 13. По электролиниям запитываются все электроагрегаты, в т.ч. пропорциональные гидродроссели 17, 18,19 и 22, а также быстродействующий запорный клапан 23 по заданной программе испытания. Включается питание силового электроблока 12 и запускается насос 6. Насос 6 создает давление на входе в гидрораспределитель 9. По программе от измерительно-управляющего блока 13 включается гидрораспределитель 9. Рабочая жидкость подается в одну из полостей испытуемого цилиндра, из второй полости рабочая жидкость сливается через гидрораспределитель 9 в бак 5. Шток поршня цилиндра 3 перемещается под давлением рабочей жидкости, преодолевая внешнюю нагрузку нагрузочного цилиндра 4, при этом происходит поворот цилиндров. Из одной полости нагрузочного цилиндра 4 рабочая жидкость выдавливается через пропорциональный гидро-дроссели 18, 19 и 22 при открытом быстродействующем запорном клапане 23 под давлением, а в другую полость нагрузочного цилиндра 4 рабочая жидкость засасывается из бака 5 через открытые обратные клапаны 20 или 21.

Скорость перемещения штока поршня испытуемого цилиндра 3 устанавливается пропорциональным гидродросселем 17. Установочные параметры внешней нагрузки определяются пропорциональными гидродросселями 18, 19 и 22. Измерительно-управляющий блок 13 контролирует параметры испытуемого цилиндра 3 в статическом и динамическом режиме испытания. Для создания ступенчатой нагрузки подается сигнал на закрытие быстродействующего запорного клапана 23, который при этом закрывается и прекращается слив рабочей жидкости через

пропорциональный гидродроссель 22. Изменение расхода рабочей жидкости через пропорциональный гидродроссель 18 приводит к ступенчатому возрастанию давления в полости нагрузочного цилиндра 4 и соответственно к ступенчатому нагружению испытуемого цилиндра 3.

Таким образом, введение дополнительного пропорционального гидродросселя 22 с электро-управлением и быстродействующего запорного клапана 23 позволяют повысить быстродействие, уменьшить погрешности установочных параметров внешних нагрузок при динамических испытаниях, упростить управление рабочим процессом.

При поддержке гранта Всероссийского конкурса молодежных проектов 2015 г. выполнена разработка оригинальной системы контроля положения поворотных элементов нагрузочных цилиндров. Устройство контроля положения створок двустворчатых ворот содержит установленные на каждой створке гальсбантом абсолютный угловой энкодер, абсолютный линейный энкодер, причем корпус абсолютного углового энкодера, соединен с корпусом створки, а его вал через упругий вал соосно соединен с неподвижной осью, на которой установлена створка, корпус абсолютного линейного энкодера шарнирно соединен с неподвижной стенкой, а измерительный шток соединен шарнирно с корпусом абсолютного углового энкодера, вычислительное устройство, входы которого соединены с сигнальными выходами всех энкодеров, привод перемещения створки, и дополнительный абсолютный линейный энкодер, который установлен в одной плоскости с первым абсолютным линейным энкодером под углом к нему, причем корпус дополнительного абсолютного линейного энкодера шарнирно установлен на неподвижной стенке, а измерительный шток шарнирно соединен с корпусом абсолютного углового энкодера, и сигнальные выходы дополнительного энкодера соединены со входами вычислительного устройства.

Разработан барботажно-волновой способ дегазации рабочей жидкости и устройство для его осуществления [9]. Данный способ может быть использован в технических устройствах, использующих в своих конструктивных решениях проточные гидробаки ОТКрытого типа для повышения эффективности дегазации рабочей жидкости электрогидромеханических систем путем интенсификации процесса дегазации, что позволяет улучшить и расширить показатели качества электрогидромеханических систем и их агрегатов. Способ предусматривает придание сетке низкочастотной поперечной вибрации, а на входе сетки методом барботажа создают газо-жидкостной слой с высокочастотным пульсирующим давлением низкой интенсивности.

Устройство в виде проточного гидробака открытого типа предусматривает установку сетки на упругих опорах. Внизу сетки со стороны выхода потока установлен пневматический динамический вибратор с модулированной фазой колебания газа, сопло которого установлено на сетке.

Разработан специальный способ и устройство для экспресс-анализа содержания свободного газа в рабочей жидкости гидропривода с баком открытого типа. Способ предусматривает вакуумирование пробы исследуемой жидкости, перемещение газа через газопроницаемую мембрану в газосборную полость с последующим измерением его объема и давления. Данное устройство определения содержания свободного газа в жидкости представляет собой систему двух взаимосвязанных полостей, разделенных газо-проницаемой мембраной. Изменение объемов полостей достигается взаимоувязанным движением поршней.

Выводы: применительно к гидроприводу ворот и затворов шлюзов судоходных гидротехнических сооружений, относящихся к стратегически важным объектам повышенной опасности, рассмотрены перспективные направления развития экспериментальной базы. Показана целесообразность оснащения испытательных комплексов устройствами для ступенчатого и синусоидального нагружения штоков гидроцилиндров гидропривода, совершенствования системы контроля положения поворотных элементов нагрузочных

цилиндров, совершенствования систем дегазации рабочей жидкости, например, путем использования устройств, основанных на барботажно-волновых методах, совершенствование систем контроля содержания газа в рабочей жидкости. Предложены инновационные решения по системам ступенчатой нагрузки штоков гидроцилиндров, системе дегазации рабочей жидкости и устройства контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Свод правил СП-101.13330.2012 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбоза-щитные сооружения. Минрегион России. - М.: 2012. 74 с.
- Морозов, В.Н. Полевые динамические испытания системы гидроприводов крупногабаритных под-вижных объектов при значительных массовых, гидродинамических и триботехнических нагруз-ках / В.Н. Морозов, Д.Б. Красинский, Л.А. Павлович // Вестник машиностроения. 2015. №11. С. 12-14.
- Информация о состоянии приводов шлюзов ряда гидротехнических сооружений... Гидропривод ворот и затворов шлюзов СГТС: сборник науч.-техн.матер., Самара: ООО «Изд-во Ас Гард», 2013. 159 с., с. 133-142.
- Исаев, Ю.М. Математическое моделирование рабочих процессов элекрогидравлического серво-привода кольцевого затвора турбины / Ю.М. Исаев, Р.А. Сунарчин, А.В. Матросов // Гидротехническое строительство. 2014. №11. С. 46-51.
- Морозов, В.Н. Научно-технические и экономи-ческие аспекты стратегии модернизации механи-ческого оборудования шлюзов судоходных гидро-технических сооружений // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Том 17, №2(4). С. 837-842.
- Патент на полезную модель 17541 РФ, МПК F15B9/09.
 Стенд для динамических испытаний цилиндров / В.Н. Морозов, И.Л. Краснощеков и др., опубл. 27.06.2012
- Патент на изобретение 2511886, МПК F15B9/09. Способ испытания гидроцилиндра на функцио-нирование под нагрузкой, ресурс и наработку до отказа / В.Н. Морозов, И.Л. Краснощеков и др., опубл. 10.04.2014
- 8. Патент на изобретение 2503858 РФ, МПК F15B9/09. Способ регулирования скорости объемного гидропривода с комб. частотно-дроссельной системой управления под нагрузкой / В.Н. Морозов, И.Л. Краснощеков и др., опубл. 10.01.2014, Бюл.№1
- Патент на изобретение 2556937 РФ, МПК G01N7/14. Способ дегазации жидкости и устрой-ства для его осуществления / И.Л. Павлович, Д.Б. Красинский, опубл. 20.07.2015, Бюл. №20.

PERSPECTIVE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL BASE FOR TESTS THE HYDRAULIC DRIVES OF NAVIGABLE HYDROTECHNICAL FACILITIES

© 2016 V.N. Morozov¹, I.L. Krasnoshchekov¹, D.B. Krasinskiy², A. L. Pavlovich², I. L. Pavlovich², E.V. Melnikov², R.A. Klinov¹

¹ JSC "Techtransstroy"

² Samara State Aerospace University

The article discusses the design, manufacturing and operational features of the hydraulic drive of navigable hydraulic structures (including geometric and mass parameters of the hydraulic drive, unit production, final Assembly and debugging of the hydraulic drive, the operating conditions, etc.), their static and dynamic characteristics. Presents modern methods of control, using modern experimental base. Described innovative device designed to simulate the external loads during testing of hydraulic drive elements, simulate changes in the parameters of the working fluid in the test elements of the hydraulic drive.

Key words: hydraulic test, hydraulic structures, navigation lock, frequency throttle regulation

Viktor Morozov, Candidate of Technical Sciences, General Director. E-mail: ttstroy@tts63.ru; Igor Krasnocshchekov, Candidate of Technical Sciences, Chief Engineer. E-mail: ttstroy@tts63.ru; Dmitriy Krasinskiy, Candidate of Technical Sciences, Head of the NIL-57 Laboratory. E-mail: sstend@mail.ru; Lev Pavlovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow; Igor Pavlovich, Leading Engineer. E-mail: i_g_o_r_ip@mail.ru; Evgeniy Melnikov, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow; Roman Klinov, Engineer Designer