

проведены дноуглубительные работы на Отраденском узле (река Волга), что позволило открыть двухстороннее судоходное движение в подходном канале к шлюзу № 1 и, соответственно, уменьшить время ожидания шлюзования. Также на Волго-Донском судоходном канале были открыты две оперативные якорные стоянки, что позволило улучшить условия расхождения, маневрирования судов и составов и условия оперативной организации диспетчерского регулирования.

В 2011 году были выполнены работы по реконструкции судоходных шлюзов № 4, 10, 14, в частности:

- изготовлены металлоконструкции рабочих двухстворчатых ворот, выполнен их монтаж;
- изготовлены ремонтные затворы, выполнены строительно-монтажные работы по закладным частям ремонтных затворов и консольных кранов для маневрирования;
- проведена реконструкция линий электрооборудования;
- выполнены работы по реконструкции противофильтрационных шпонок, рымных ниш, парапетов причальных эстакад камеры шлюза;
- изготовлены плавучие рымы;
- выполнена реконструкция контрольно-измерительной аппаратуры, пришлюзовых площадок, причальных эстакад и подъездных дорог.

Выполнялись работы по реконструкции систем электрооборудования приводных механизмов ворот и затворов по шлюзам № 2, 6, 8, 12. Рабочими комиссиями объектов приняты в эксплуатацию. Завершается реконструкция систем электрооборудования приводных механизмов ворот и затворов на 11 шлюзах канала. Начаты работы по реконструкции систем электрооборудования на шлюзах № 10, 11, 13.

Продолжаются работы по реконструкции сети бассейновой связи Волго-Донского судоходного канала:

- создана единая бассейновая магистральная мультисервисная сеть связи на базе волоконно-оптической линии связи (ВОЛС, 24 км) и радиорелейной линии связи (РРЛ, 377 км);
- создана бассейновая сеть автоматической идентификационной системы (АИС) на базе 12 береговых комплексов АИС и 3 диспетчерских пунктов;
- создана бассейновая диспетчерская УКВ-радиопроводная сеть связи на базе 13 комплексов береговых радиостанций.

В 2012 году работы по реконструкции связи будут завершены в полном объеме. В рамках разработки и реализации комплексного проекта реконструкции

Волго-Донского судоходного канала в 2011 году выполнялись работы по разработке проектной документации.

Комплексный проект предусматривает реконструкцию шлюзов, насосных станций, создание единой автоматизированной информационно-управляющей системы диспетчеризации и мониторинга состояния сооружений, оснащение инженерно-техническими средствами обеспечения транспортной безопасности, реконструкцию бассейновой сети связи и многое другое. Начало реконструкции объектов намечено на 2013 год. Завершение всего комплекса работ запланировано на 2018 – 2019 годы.

Основными задачами на среднесрочную перспективу являются:

- завершение в полном объеме работ по реконструкции объектов канала и доведение уровня безопасности гидротехнических сооружений до нормального;
- обеспечение бесперебойного пропуска судов по каналу и его безаварийной работы.

В настоящее время Волго-Донской судоходный канал играет важную роль в обеспечении транзитных перевозок на юге России. А в будущем, в ходе намечаемой интеграции транспорта России в мировую транспортную систему Волго-Донской судоходный канал станет транзитным участком внутренних водных путей, входящих в международный транспортный коридор № 9 «Север – Юг» на территории России в направлении Санкт-Петербург – Москва – Нижний Новгород – Волгоград – Астрахань с ответвлением Волгоград – Волго-Донской судоходный канал – Ростов-на-Дону.

Несмотря на гидротехническую и архитектурную уникальность Волго-Донского комплекса сооружений, главной гордостью канала всегда будут люди, построившие и эксплуатирующие это великолепное творение. В честь строителей Волго-Дона установлен памятник на самой высокой точке города Волгодонска. Мы с благодарностью вспоминаем сегодня руководителей Волго-Дона: И. К. Бирюкова, Д. Ф. Агафонова, В. А. Чмшкяна, В. А. Виноградова. Как дань памяти создателям и работникам канала при управлении в мае 2001 года открыт Музей истории Волго-Донского судоходного канала. Его основателем и первым директором была Римма Михайловна Эдельман.

Идет смена поколений работников канала, но, как и первые эксплуатационники, они направляют свои усилия на сохранение крупнейшего, красивейшего канала России, его эффективное использование в интересах страны и развития ее экономики уже в новом веке.

Исследование динамических характеристик макета подъемно-опускных ворот судоходных шлюзов с частотно-управляемым электрогидроприводом

Волго-Донской судоходный канал отмечает свое 60-летие самым высоким в стране уровнем автоматизации судопропуска. Введенная в строй на 11 шлюзах ВДСК цифровая информационно-управляющая система технологической безопасности судопропуска (ИУС ТБС), выполненная на базе современной микропроцессорной техники, уже отработала в общей сложности 16 навигаций, и ее запуск в эксплуатацию на всех шлюзах планируется осуществить в 2013 году.

Одновременно проектируется единая система диспетчеризации, которая совместно с ИУС ТБС обеспечит качественно новый уровень автоматизации как судопропуска, так и информационного обеспечения канала, являющегося в этой части лидером водных путей страны.

Однако всегда остается актуальной и дискуссионной проблема выбора исполнительного механизма, входящего составной частью в СУ СГТС и непосредственно решающего задачу перемещения ворот и затворов, особенно в связи с назревшей реконструкцией подавляющего большинства судоходных шлюзов в стране.

Для перемещения ворот и затворов СГТС используются два типа исполнительных механизмов (ИМ), а именно электрогидравлические и электрогидравлические приводы. Так, ИУС ТБС на ФБУ «Волго-Дон» использует электрогидравлический привод, а для ряда шлюзов ВДСК применяется и электрогидравлический привод. Не вдаваясь в обсуждение широко известных достоинств и недостатков вышеуказанных типов приводов, в настоящей статье рассмотрим возможность использования электрогидравлического привода для решения задачи перемещения ворот и затворов СГТС.

В силу того что ИМ является составной частью СУ, имеет смысл предъявлять требования к его статическим и динамическим характеристикам исключительно как к одному из элементов СУ, оказывающему существенное влияние на ее характеристики. С внедрением новых СУ, построенных с применением микропроцессорной техники, требования к статическим и динамическим характеристикам СУ становятся более жесткими. Это является следствием дискретной природы управляющих воздействий в системе, что, в свою очередь, приводит к сужению области ее устойчивости по сравнению с аналоговой системой, кроме того, возросли требования эксплуатирующих организаций к работе СУ в целом.

Требования, предъявляемые к СУ перемещением ворот и затворов СГТС, сформулированы в ГОСТ Р 54369–2011 и в части самого перемещения могут быть представлены в следующем виде:

- выполнение заданных временных и про-

странственных графиков движения ворот и затворов, то есть решение задач стабилизации заданной скорости и позиционирования;

- синхронизация движения сторон затвора и ворот;
- обеспечение плавности и безударности движения, в том числе в зонах конечных положений;
- компенсация всего диапазона допустимых внешних нагрузок в процессе движения;
- осуществление судопропуска при наличии однократной неисправности СУ, в том числе любого из ее элементов;
- относительная простота технической реализации и удешевление эксплуатации СУ.

Очевидно, что при таких разнополярных требованиях естественное желание получить оптимальную СУ путем решения задачи оптимизации как выбора метода управления, так и выбора параметров СУ невыполнимо вне зависимости от выбранного критерия, по меньшей мере из-за существенных нелинейностей, присущих СУ, в составе которой присутствует сугубо нелинейный ИМ. Попытка же линеаризации, гармонической либо статистической, с целью выбрать настройки СУ вряд ли принесет плоды из-за большого разнообразия как амплитуд входных воздействий, так и возмущений, параметры которых будут определять области устойчивости линеаризованной системы. Поэтому при проектировании СУ и ИМ как ее составной части приходится идти на компромисс, получая неоптимальную систему, но тем не менее



Самойлов В. Б.
исполнительный директор
ЗАО «Траскон Текнолоджи»



Дикарев М. М.
к.т.н.,
начальник отдела
ЗАО «Траскон Текнолоджи»

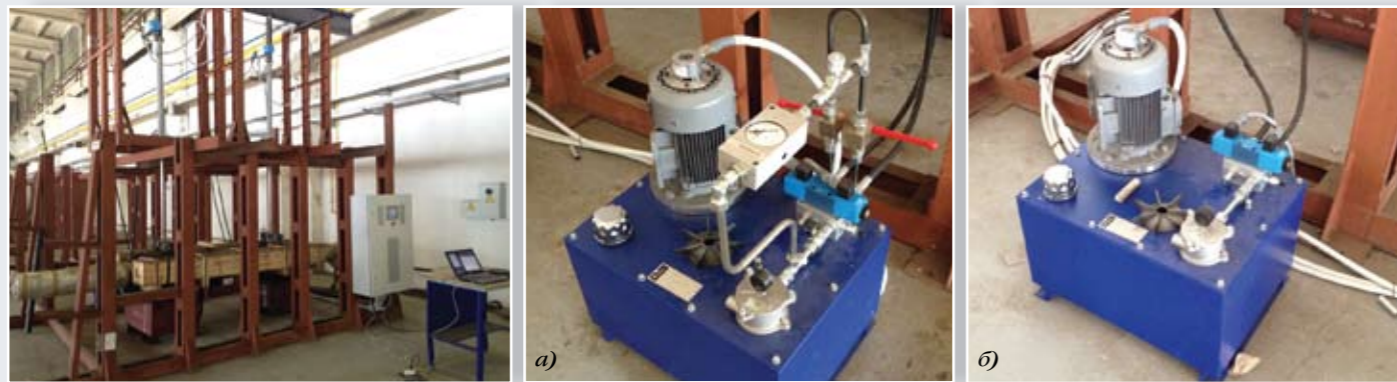


Рис. 1. Опытный стенд. Макет ПОВ

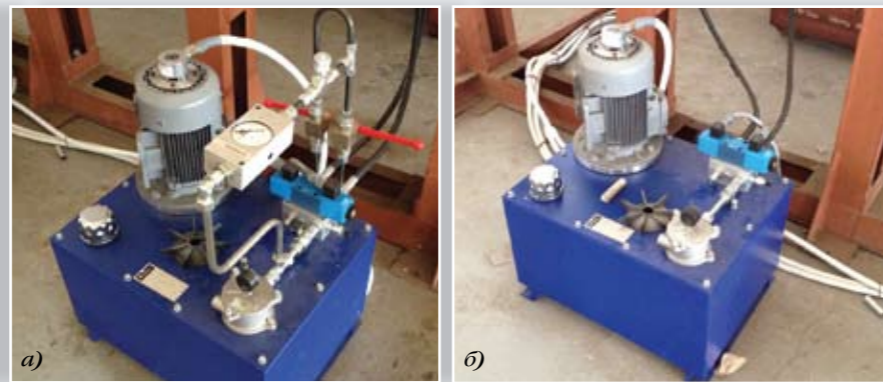


Рис. 2. Левая (а) и правая (б) МНУ

удовлетворяющую всем необходимым требованиям.

Широко известные методы регулирования гидроприводов, такие как дроссельный и объемный, имеют, в свою очередь, известные недостатки, которые не всегда удается устранить без применения достаточно сложных устройств и алгоритмов.

Однако получившие в последнее время широкое распространение устройства регулирования скорости вращения электродвигателей, частотные преобразователи (ЧП), позволяют совершенно по-новому взглянуть на проблему регулирования гидропривода.

Известно, что расход насоса, подключенного к полости гидроцилиндра (ГЦ) и определяющего скорость перемещения штока последнего, прямо пропорционален частоте вращения соосного с валом насоса вала приводного электродвигателя. При оснащении такого электродвигателя ЧП оказывается возможным регулировать расход насоса, а следовательно, и скорость перемещения штока ГЦ во всем диапазоне допустимых частот вращения электродвигателя, то есть от 0 до 50 Гц. При этом на валу электродвигателя и соосного с ним вала насоса может поддерживаться любой момент нагрузки в допустимых пределах. Таким образом, применение ЧП позволяет поддерживать любую скорость перемещения штока ГЦ вне зависимости от нагрузки (здесь и далее безусловно идет речь о допустимых пределах нагрузки и скоростей). В разомкнутом по скорости перемещения штока гидроприводе точность поддержания скорости перемещения штока будет определяться исключительно точностью поддержания частоты вращения вала электродвигателя и в диапазоне частот от 0 до 50 Гц теоретически может составлять $\pm 0,02\%$ от заданной скорости вращения. При этом точность поддержания скорости не зависит от нагрузки. Если же использовать обратную связь по скорости штока, то точность ее поддержания будет определяться исключительно параметрами содержащихся в системе нелинейностей, таких как зоны нечувствительности, люфты и пр.

Все вышеуказанное позволяет предложить по меньшей мере три возможных пути построения СУ, обеспечивающей синхронизацию движений сторон ворот и затворов при применении механически и гидравлически

независимых маслянапорных установок (МНУ) на левой и правой сторонах ворот:

1. поддержание на каждой из сторон заданной скорости, стороны между собой не связаны, то есть отсутствует любой вид обратной связи, в силу чего вопросы устойчивости системы не возникают;
2. слежение одной стороны за другой по скорости, то есть существует обратная связь по скорости перемещения штоков ГЦ, и возможна потеря устойчивости системы;
3. слежение одной стороны за другой по положению, то есть существует обратная связь по положению штоков ГЦ, и возможность потери устойчивости системы выше по отношению к вышеуказанной из-за наличия интегрирующего звена в контуре стабилизации.

Очевидно, что при построении СУ указанными методами область устойчивости СУ будет тем меньше, чем больший порядковый номер ее построения мы применим. Таким образом, самой нестабильной, а также наиболее чувствительной к параметрам регулирования и внешних воздействий в части устойчивости будет система, построенная по методу слежения одной стороны за другой по положению, и поэтому именно такая система была построена нами для проведения соответствующих экспериментов.

В марте 2012 года ЗАО «Траскон Текнолоджи» совместно с ООО «ГидраПак Силовые и Управляющие системы» и на его производственной базе провело опытно-конструкторские и технические мероприятия по исследованию динамических свойств частотно-регулируемого гидропривода (ЧП) макета подъемно-опускных ворот (МПОВ).

Проведенные эксперименты преследовали следующие цели:

- исследование возможностей синхронизации движения сторон МПОВ при существовании различных характеристиках МНУ на каждой стороне;
- исследование влияния перекаса нагрузки на синхронность движения;
- исследование влияния параметров корректирующих устройств СУ на характер и параметры движения МПОВ;
- исследование статических ошибок при позиционировании сторон МПОВ.

Для реализации поставленных целей исследования был спроектирован и смонти-

рован МПОВ (рис. 1), который содержал груз массой 5 т, закрепленный на штоках двух ГЦ, размещенных на расстоянии 2 м друг от друга. Рабочий ход штоков гидроцилиндров составлял 1200 мм.

Используемые на установке ГЦ серийно производимые. Их основные параметры:

- диаметр цилиндра — 63 мм;
- диаметр штока — 40 мм;
- ход штока — 1200 мм;
- рабочее давление — 12 МПа;
- скорость подъема/опускания (при проведении экспериментов) — 0,5–3,5 м/мин.

Панели с гидроаппаратурой (рис. 2, а, б) содержали каждая:

- электродвигатель с параметрами 380 В, 4 кВт, 2850 об/мин;
- шестеренный насос с рабочим объемом 4,16 см³/об;
- распределительные клапаны для подключения МНУ к штоковой или поршневой полости ГЦ;
- масляный фильтр;
- предохранительный клапан;
- маслобак.

Для создания при проведении эксперимента заведомо тяжелых условий работы СУ с ЧП были использованы следующие факторы:

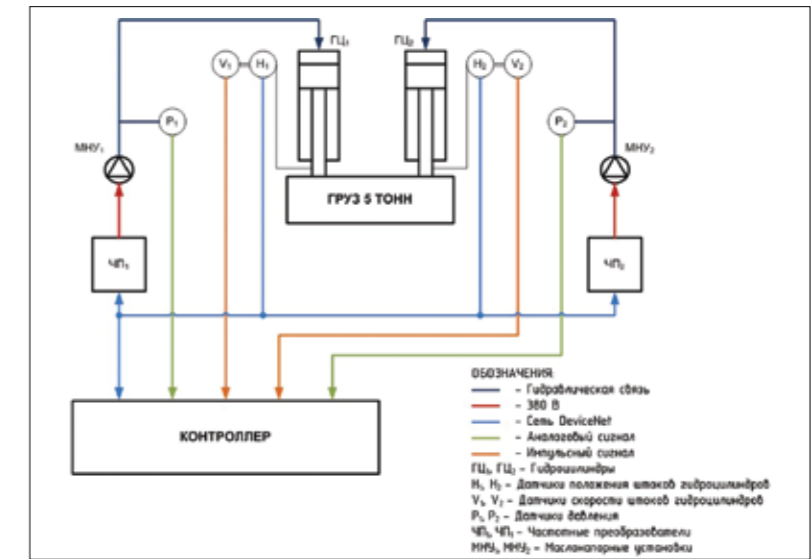


Рис. 3. Структурная схема экспериментальной установки

- применены шестеренные насосы в обеих МНУ, заведомо имеющие значительно большие обратные утечки по сравнению с аксиально-поршневыми насосами;
- характеристики примененных насосов были существенно различны;
- трубопроводы от левой и правой МНУ до ГЦ имели различную длину, отличающуюся в 2 раза;
- был применен имитатор утечки масла — ручной регулируемый дроссель в составе

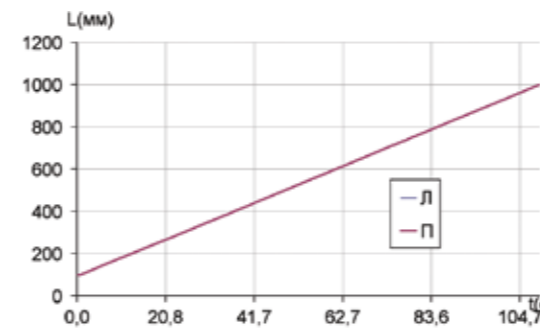


Рис. 3.1. Движение вверх со скоростью 500 мм/мин, положения штоков

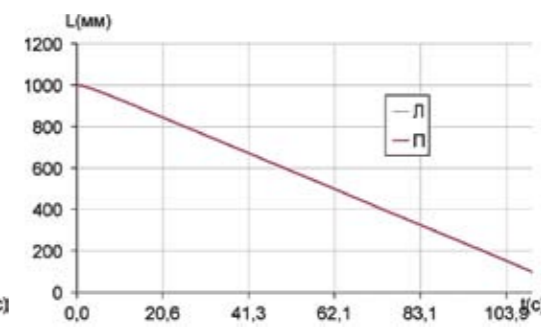


Рис. 3.4. Движение вниз со скоростью 500 мм/мин, положения штоков

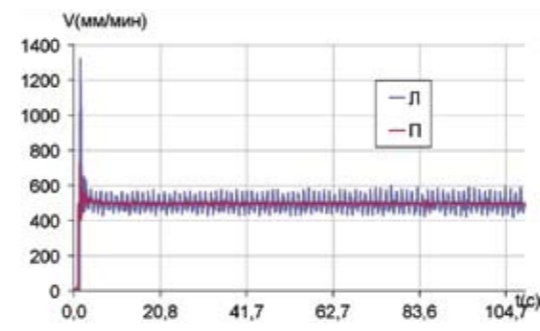


Рис. 3.2. Движение вверх со скоростью 500 мм/мин, скорости штоков

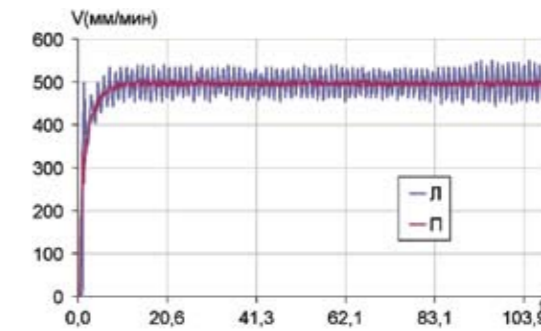


Рис. 3.5. Движение вниз со скоростью 500 мм/мин, скорости штоков

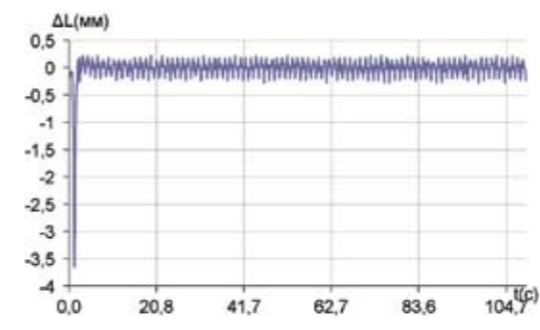


Рис. 3.3. Движение вверх со скоростью 500 мм/мин, перекас

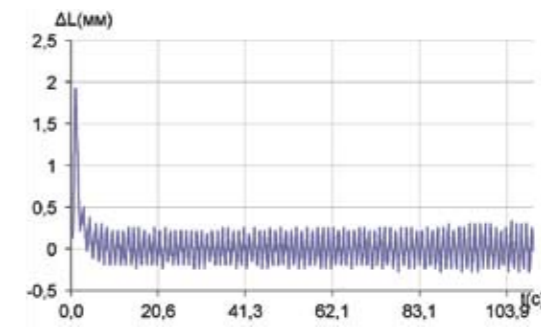


Рис. 3.6. Движение вниз со скоростью 500 мм/мин, перекас

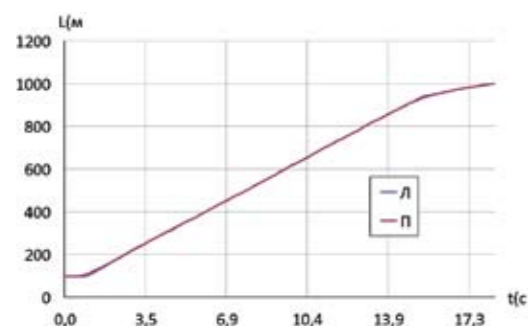


Рис. 4.1. Движение вверх со скоростью 3500 мм/мин, положения штоков

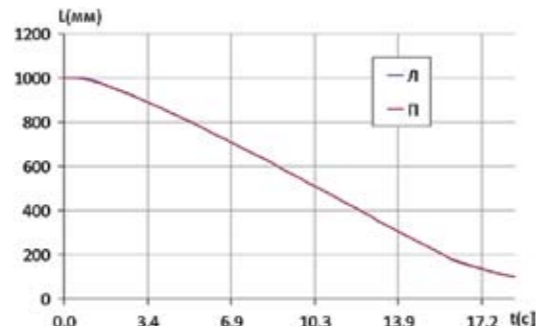


Рис. 4.4. Движение вниз со скоростью 3500 мм/мин, положения штоков

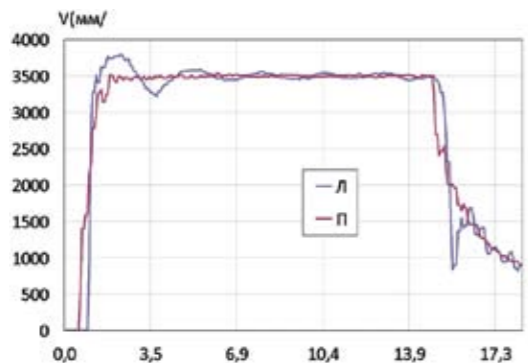


Рис. 4.2. Движение вверх со скоростью 3500 мм/мин, скорости штоков

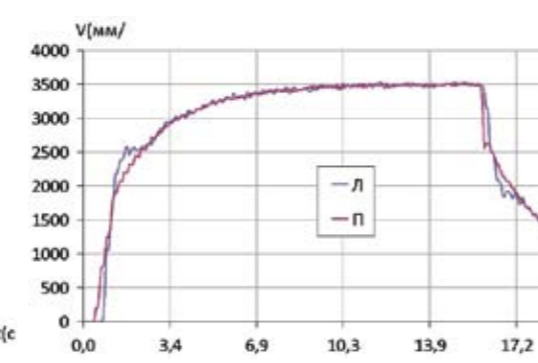


Рис. 4.5. Движение вниз со скоростью 3500 мм/мин, скорости штоков

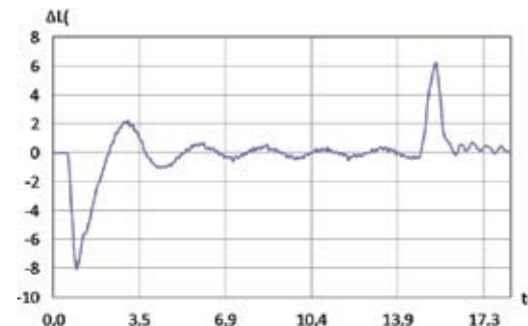


Рис. 4.3. Движение вверх со скоростью 3500 мм/мин, перекас

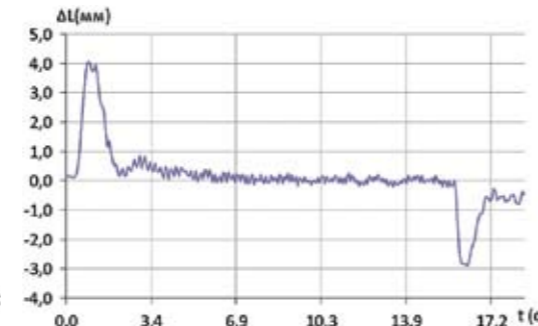


Рис. 4.6. Движение вниз со скоростью 3500 мм/мин, перекас

гидросистемы левой МНУ, отводящий часть рабочей жидкости напорной магистрали обратно в бак с возможностью установки расхода утечки от 0 до 10 л/мин;

- осуществлялось смещение центра масс подвешенного груза на 15 % относительно центра подвески;

- программировались (и, естественно, были соблюдены) минимальные промежутки времени разгона и торможения для усиления негативных эффектов, связанных со сжимаемостью рабочей жидкости. Для управления работой системы использовался программируемый логический контроллер CJ1M-CPU22 фирмы OMRON со следующими модулями ввода/вывода:

- модулем аналоговых входов для подключения датчиков давления;
- модулем дискретных выходов для управления распределительными клапанами;
- модулем сети Device Net для приема информации от датчиков текущего положения штоков ГЦ и для управления ЧП электродвигателей насосов левой и правой МНУ.

Структурная схема экспериментальной установки показана на рис. 3. В процессе проведения экспериментов задавались различные скорости перемещения груза — от

500 до 3500 мм/мин. Следует отметить, что эксперименты с еще большими скоростями не могли быть проведены в силу ограниченного расхода насосов.

На приведенных графиках показана реакция СУ на различные входные воздействия как при отсутствии имитаций внешних возмущений, так и с их имитацией. На графиках использованы следующие обозначения: L — путь, пройденный штоками гидроцилиндров (левым и правым); V — линейная скорость штоков; ΔL — разность путей правого и левого ГЦ, перекас; t — время.

На рис. 3.1–3.6 представлены графики движения штоков без возмущений вверх (подъем нагрузки) и вниз (опускание нагрузки) на заданной скорости 500 мм/мин.

Аналогично на рис. 4.1–4.6 представлены такие же графики, но при заданной скорости 3500 мм/мин. Нетрудно видеть, что наиболее интересующая нас координата следящей системы, а именно перекас, практически не зависит от величины заданной скорости в установившихся режимах, но существенно зависит от нее в режимах разгона-торможения.

Последнее обстоятельство вызвано тем, что левый насос заметно слабее правого в

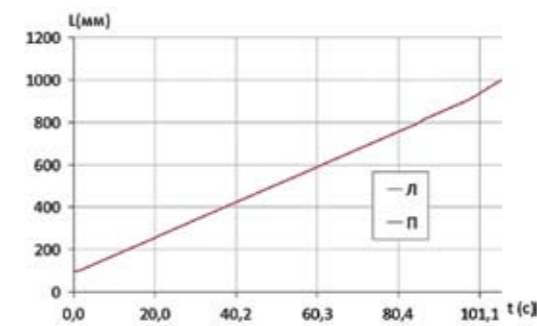


Рис. 5.1. Движение вверх со скоростью 500 мм/мин, положения штоков

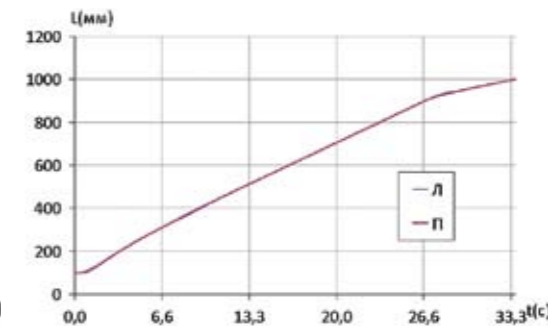


Рис. 5.4. Движение вверх со скоростью 1750 мм/мин, положения штоков

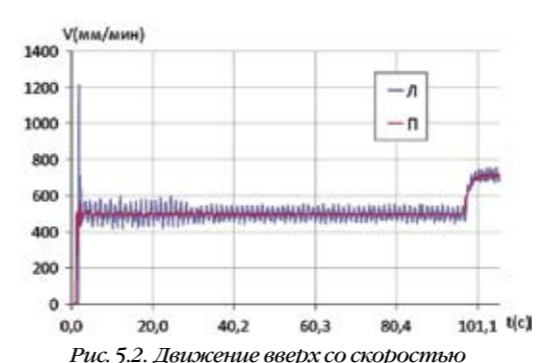


Рис. 5.2. Движение вверх со скоростью 500 мм/мин, скорости штоков

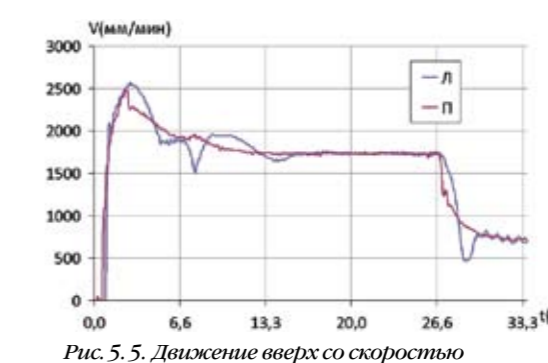


Рис. 5.5. Движение вверх со скоростью 1750 мм/мин, скорости штоков

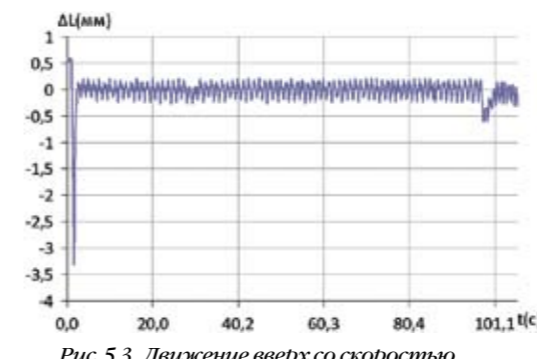


Рис. 5.3. Движение вверх со скоростью 500 мм/мин, перекас

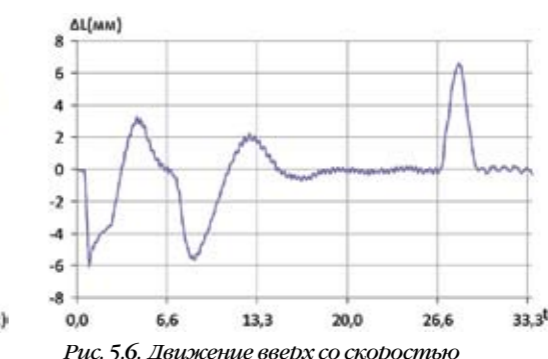


Рис. 5.6. Движение вверх со скоростью 1750 мм/мин, перекас

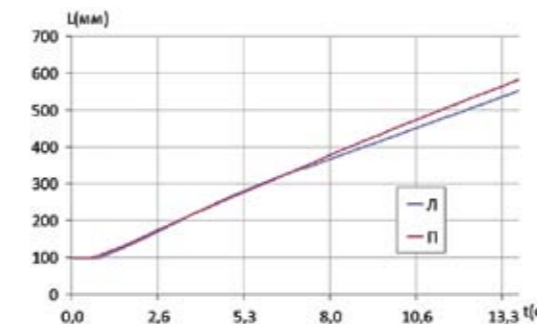


Рис. 5.7. Движение вверх со скоростью 2000 мм/мин, положения штоков

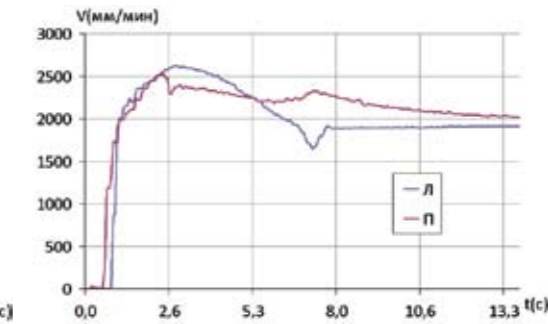


Рис. 5.8. Движение вверх со скоростью 2000 мм/мин, скорости штоков

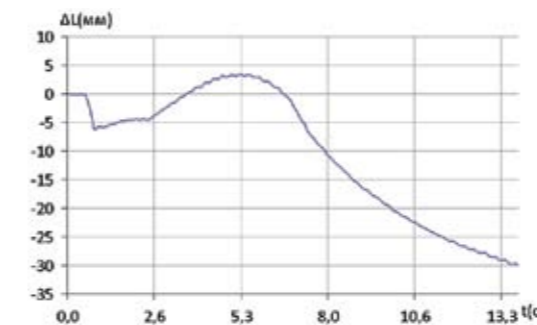


Рис. 5.9. Движение вверх со скоростью 2000 мм/мин, перекас

части обеспечения требуемого расхода, но, несмотря на это, возникающий перекас никогда не превышает 8,2 мм в переходных режимах и менее 1,0 мм в установившихся режимах. При этом заданная скорость движения четко отрабатывается по обеим сторонам, а амплитуда возникающих колебаний скорости левого штока обусловлена все той же расходной характеристикой левого насоса.

На рис. 5.1–5.9 представлены аналогичные графики при заданных скоростях 500, 1750 и 2000 мм/мин, но при этом в каждом из этих экспериментов создана несимме-

тричная для штоков ГЦ нагрузка в виде возникающей во время движения силы, давящей на левую сторону нагрузочной балки. На приведенных графиках видно, что до некоторой заданной скорости движения система эту скорость обрабатывает с хорошей точностью, удерживая перекося в допустимых пределах. Однако, как показано на рис. 5.7–5.9, при заданной скорости 2000 мм/мин левая сторона системы начинает отставать от правой, и перекося выходит за допустимые пределы, что, как уже было указано выше, определяется характеристиками левого насоса.

На рис. 6.1–6.3 представлены аналогичные графики движения системы при заданной скорости 500 мм/мин вверх, но при этом в каждом из этих экспериментов создана значительная утечка из магистрали левой МНУ. На приведенных графиках видно, что даже значительная утечка в магистрали МНУ, имеющей относительно слабый насос, до определенных пределов практически не влияет на качество движения системы.

Полученные в результате проведенных исследований системы управления МПОВ с ЧПП данные показали следующее:

- СУ работоспособна и сохраняет устойчивость в широком диапазоне входных управляющих воздействий;
- СУ обеспечивает приемлемую точность синхронизации движения правой и левой сторон МПОВ;
- СУ с ЧПП эффективно решает задачи поддержания заданной скорости и позиционирования; отметим, что в процессе позиционирования при подходе к заданному конечному положению можно программно снизить заданную скорость перемещения штока ГЦ до любой наперед заданной величины, что приводит к плавному и безударному окончанию процесса движения;
- тип применяемого в МНУ насоса не оказывает существенного влияния на работу СУ;
- важным фактором эффективной работы СУ является максимально возможная идентичность характеристик насосов правой и левой МНУ;
- СУ с ЧПП хорошо обрабатывает внешние возмущения, при этом до определенных амплитуд возмущений скорость их обработки является достаточно высокой, задержка по времени не превышает 2 с.
- ЧПП при проектировании, монтаже и проведении экспериментов показал себя зна-

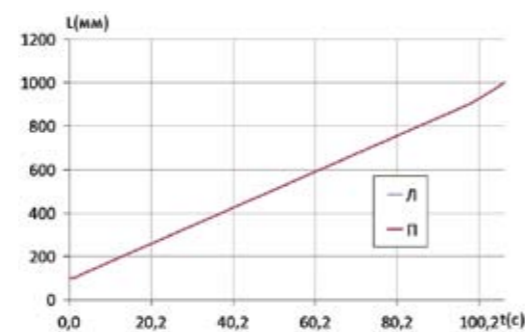


Рис. 6.1. Движение вверх со скоростью 500 мм/мин, положения штоков, утечка

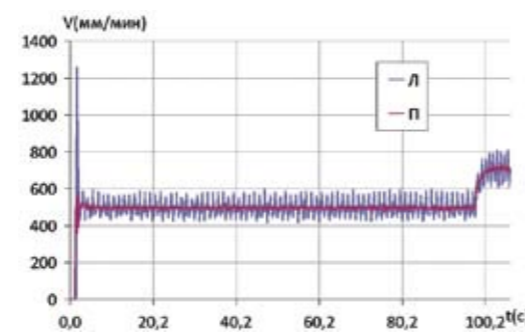


Рис. 6.2. Движение вверх со скоростью 500 мм/мин, перекося, утечка

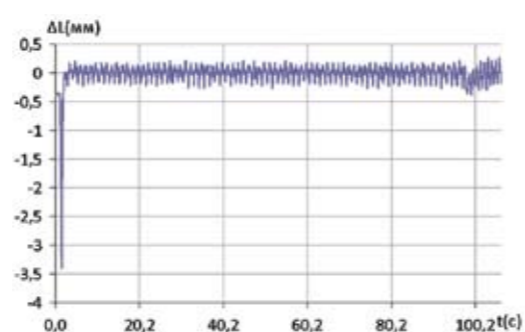


Рис. 6.3. Движение вверх со скоростью 500 мм/мин, скорости штоков, утечка

чительно более простым по отношению к традиционным приводам и не требующим высокой квалификации обслуживающего персонала в части теории гидравлических машин.



Пайкин Б. Е.
главный инженер
ФБУ «Волго-Дон»



Результаты эксплуатации частотно-регулируемых приводов на технологических механизмах с электромеханическим приводом на 11 шлюзах ВДСК показали, что в настоящее время нет более эффективного способа управления маневрированием гидротехническими затворами. Используя частотное регулирование, мы получили возможность маневрирования затворами со скоростями от нулевой до максимальной посредством одного электродвигателя и с одновременным контролем вращательного момента двигателя.

При обсуждении технических решений в процессе проектирования электрогидравлического привода для подъемно-опускных ворот возникла необходимость проверки возможности использования данного способа регулирования для гидропривода. В целях проверки технических решений и определения принципиальной возможности обеспечения требуемых динамических и статических характеристик движения штока гидроцилиндра во всем диапазоне нагрузок и скоростей путем изменения расхода нерегулируемого аксиально-поршневого насоса за счет регулирования скорости его вращения ЗАО «Траскон Текнолоджи» в 2010 году была разработана и испытана экспериментальная установка с частотно-регулируемым электроприводом. Эксперименты проводились на затворе галерей шлюза № 30. Результаты натурных испытаний показали работоспособность гидропривода в диапазоне линейных скоростей перемещения штока гидроцилиндра от 0 до 6,05 м/мин во всем диапазоне нагрузок, от свободного штока до движения затвора под гидродинамическим напором, с хорошими статическими и динамическими характеристиками.

Экспериментальная установка имеет более простую гидравлическую часть по сравнению с существующими эксплуатируемыми системами. Эффективность гидропривода с частотно-регулируемым электроприводом гидронасоса обусловлена тем, что применение частотного преобразователя для управления фактическим расходом насоса позволяет экономить как электроэнергию за счет потребления фиксированных токов, которые на многих режимах меньше номинальных, так и ресурс электродвигателя, который, в отличие от традиционных гидравлических схем, под управлением частотного преобразователя плавно разгоняется и тормозится.

С использованием результатов указанных выше испытаний и исследований динамических характеристик, описанных в данной статье, специалистами ФБУ «Волго-Дон» разработаны технические требования к проектированию гидроприводов в рамках комплексной реконструкции механизмов ПОВ канала с обязательным условием применения способа регулирования с управлением асинхронным электродвигателем от частотного преобразователя.

ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ГИДРОПРИВОД

- сокращение издержек на производство, монтаж и эксплуатацию;
- реализация любой тахограммы движения;
- экономия электроэнергии;
- существенное упрощение гидравлической схемы;
- компактные размеры;
- компенсация утечек;
- снижение уровня шума;
- высокий КПД.



Москва, ул. Нагатинская, д. 4А
Тел.: (495) 956-6450, 234-3417
www.trascon.ru, www.tta.ru
sales@trascon.ru



Мнение эксперта



Муравьев В. М., к.т.н., профессор,
зав. кафедрой электрооборудования МГАВТ

Экспериментальный макет ПОВ с электрогидравлическим приводом, управляемым частотным преобразователем, показал превосходные результаты работы в широком диапазоне скоростей и нагрузок, в том числе при существенно несимметричных нагрузках.

Гидропривод, базирующийся на технологии частотного регулирования, входит в число передовых достижений современной науки.

Применение такого привода в современных цифровых системах управления СГТС открывает широкие перспективы энергосбережения и повышения безопасности судопропуска.