

УДК 681.514

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЕМНО-ОПУСКНЫМИ ВОРОТАМИ СУДОХОДНОГО ШЛЮЗА

*И.А. Данилушкин, С.А. Колпащиков, Е.В. Мельников*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: idanilushkin@mail.ru

*Исследуется система автоматического управления подъемно-опускными воротами судоходного шлюза. В качестве объекта управления выступает положение ворот при подъеме и опускании. Система должна обеспечивать перемещение ворот с минимальным перекосом. Приведено краткое описание технологической установки, структура системы управления, экспериментальные данные. Выполнен спектральный анализ сигналов, присутствующих в системе. Разработан полосно-заграждающий фильтр, обеспечивающий снижение влияния помех на формирование управляющего воздействия. Выполнено численное исследование фильтра, сделан вывод о его применимости.*

**Ключевые слова:** *подъемно-опускные ворота, судоходный шлюз, система автоматического управления, спектральный анализ, полосно-заграждающий фильтр, фильтр Баттерворта.*

На верхних головах судоходных шлюзов в ряде случаев используются плоские ворота, с независимым электрогидравлическим приводом каждой из сторон. Подъем ворот осуществляется путём нагнетания масла в нижнюю полость цилиндра, опускание – за счёт стравливания масла из нижней полости. Нагнетание масла осуществляется гидронасосами с электроприводом. При этом должна быть решена задача синхронизации положения сторон подъемно-опускных ворот. К системе синхронизации применяются жёсткие требования по предельно допустимому перекоосу.

В рамках реконструкции шлюзов №25 и №26, находящихся в Балаковском районе гидротехнических сооружений и судоходства, было проведено оснащение верхних рабочих ворот современной системой автоматического управления. Для реализации системы управления электроприводы гидронасосов были оснащены преобразователями частоты, проведена замена датчиков положения ворот инкрементальными энкодерами, с разрешением 0,1 мм/имп. Система автоматического управления реализована на базе программируемых логических контроллеров серии М340 компании Шнейдер Электрик. Каждая сторона работает под управлением отдельного контроллера. Между контроллерами и преобразователями частоты реализован обмен данными по сети Ethernet. Номинальная скорость перемещения ворот при подъёме – 40 мм/с. При этом предельно допусти-

---

*Данилушкин Иван Александрович (к.т.н.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».*

*Колпащиков Сергей Александрович (к.т.н.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».*

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

мый рабочий перекося ворот составляет 60 мм. Такие характеристики объекта предъявляют жёсткие требования к построению системы автоматического управления синхронизацией.

Система автоматического управления перемещением каждой из сторон строилась по следующему принципу. При подаче команды на подъём ворот, электропривод включался на номинальную скорость вращения – 980 об/мин. В случае опережения управляемой стороной противоположной стороны, скорость вращения снижается пропорционально рассогласованию. Структурная схема регулятора представлена на рис. 1. Здесь  $L_1(p)$ ,  $L_2(p)$  – изображение по Лапласу сигнала положения управляемой и противоположной сторон ворот соответственно,  $W_{OY}(p)$  – передаточная функция объекта управления, учитывающая динамику преобразователя частоты, электропривода и гидравлической системы.

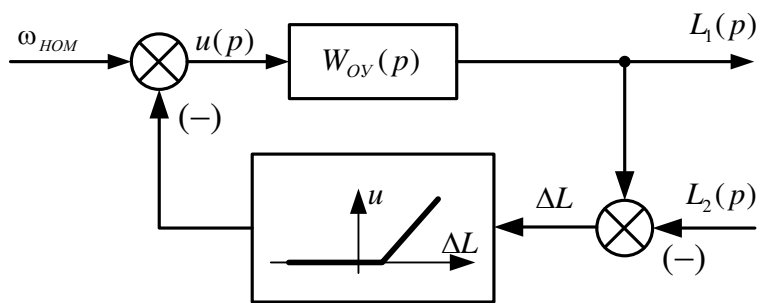


Рис. 1. Структурная схема регулятора

В идеальном случае электроприводы обеих сторон ворот вращаются с номинальной частотой, обе стороны ворот перемещаются с одинаковой скоростью. Зона нечувствительности в нелинейном элементе введена для уменьшения случаев изменения скорости вращения двигателя, поскольку это неблагоприятно сказывается на состоянии оборудования и приводит к преждевременному износу. Регулирование динамической величины перекося осуществляется за счёт задания крутизны наклона нелинейной характеристики, при этом увеличение крутизны также неблагоприятно сказывается на оборудовании гидросистемы.

После запуска системы автоматического управления в эксплуатацию были получены экспериментальные характеристики системы. Регистрация данных проводилась с максимально возможной скоростью – в каждом рабочем цикле контроллера. Средняя длительность цикла контроллера составила 50 мс.

Обнаружено, что перемещение каждой из сторон ворот происходит рывками. Фрагмент графика перемещения стороны ворот приведён на рис. 2.

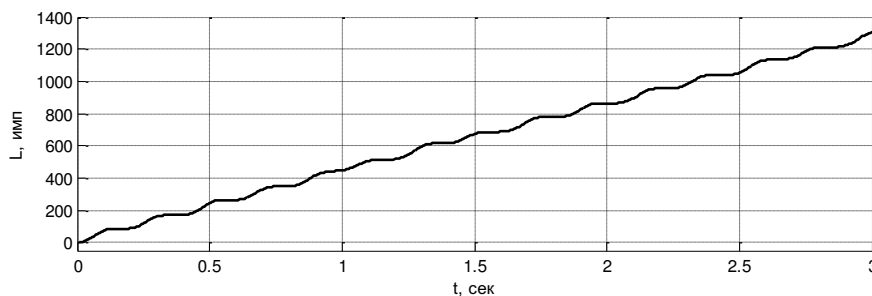


Рис. 2. Фрагмент графика перемещения стороны ворот

Такое поведение объекта управления связано с тем, что гидравлическая система выступает в качестве колебательного контура [1]. Для решения задачи снижения влияния этих колебаний на работу системы автоматического управления, было проведено исследование сигналов, циркулирующих в системе во время работы. Спектр сигнала перемещения, снимаемого с выхода системы,  $L_1(p)$ , после вычета из него постоянно возрастающей компоненты представлен на рис. 3.

Сигналу присущи гармонические составляющие на частотах 2,5 Гц и 5 Гц. Эти составляющие обусловлены конструкцией маслонасоса и скоростью вращения электродвигателя. Для анализа влияния периодического сигнала на формирование управляющего воздействия, построена спектральная характеристика управляющего сигнала  $u(p)$ , сформированного регулятором на опережающей стороне. На рис. 4. приведён график соответствующий диапазону частот от нуля до трёх Герц. Далее график стремится к нулю.

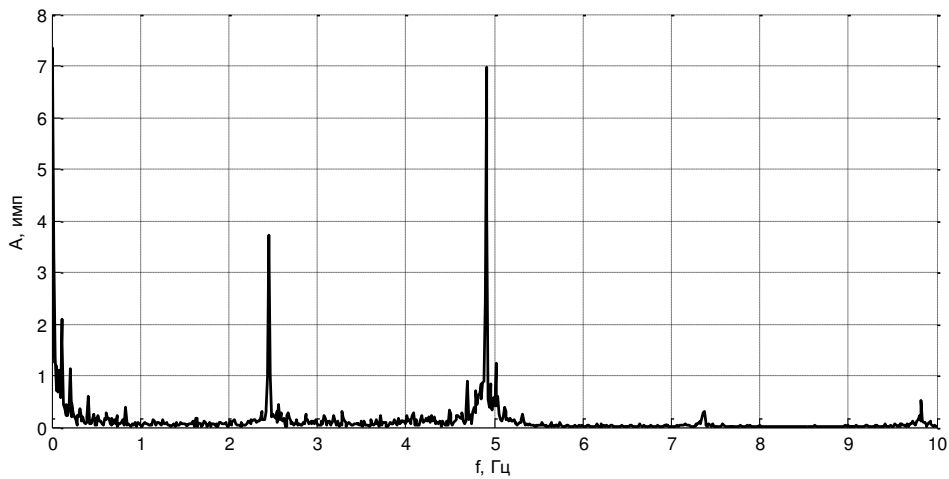


Рис. 3. Спектр сигнала помехи перемещения стороны ворот

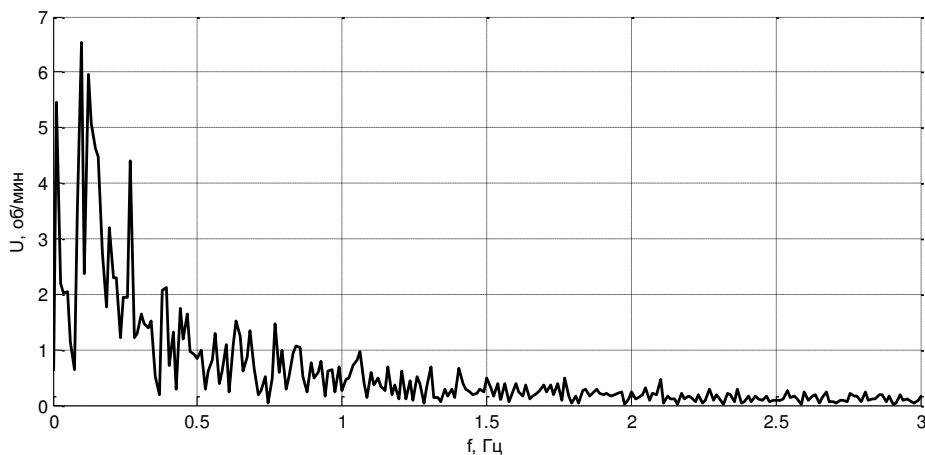


Рис. 4. Спектр управляющего сигнала

График, представленный на рис. 4 позволяет сделать вывод о том, что высокочастотные помехи с частотой более двух Герц на формирование управляющего сигнала не влияют. В то же время, желательно уменьшить влияние помех с частотами от 0,1 до 0,5 Гц.

Для снижения влияния помех в среде Matlab [2] проведён синтез полосно-заграждающего фильтра Баттерворта шестого порядка с частотами 0,02 и 0,4 Гц. Амплитудно-частотная характеристика фильтра представлена на рис. 5.

При пропуске сигнала положения ворот через полосно-заграждающий фильтр, колебательность сигнала снижается, однако появляется ожидаемое «отставание» сигнала от реального (рис. 6, 7). Максимальное отставание при вычислительных экспериментах с реальными данными составило 97 имп., что соответствует примерно 10 мм. При эксплуатации экспериментальной системы с зоной нечувствительности установленной в 5 мм, максимальное зарегистрированное рассогласование составляет 18 мм, что намного меньше предельно допустимого 60 мм.

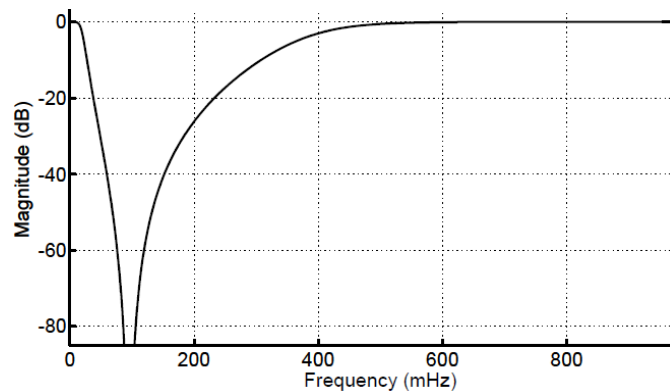


Рис. 5. АЧХ полосно-заграждающего фильтра

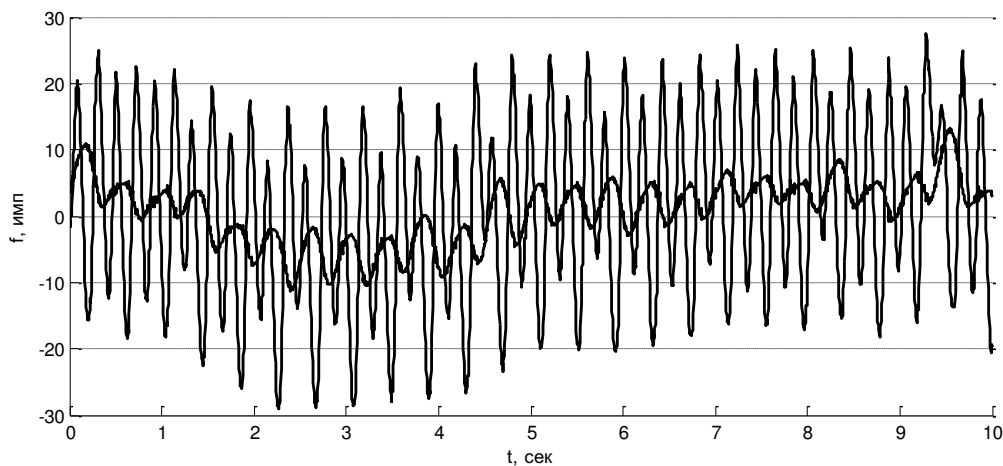


Рис. 6. Помеха в исходном сигнале и после фильтрации

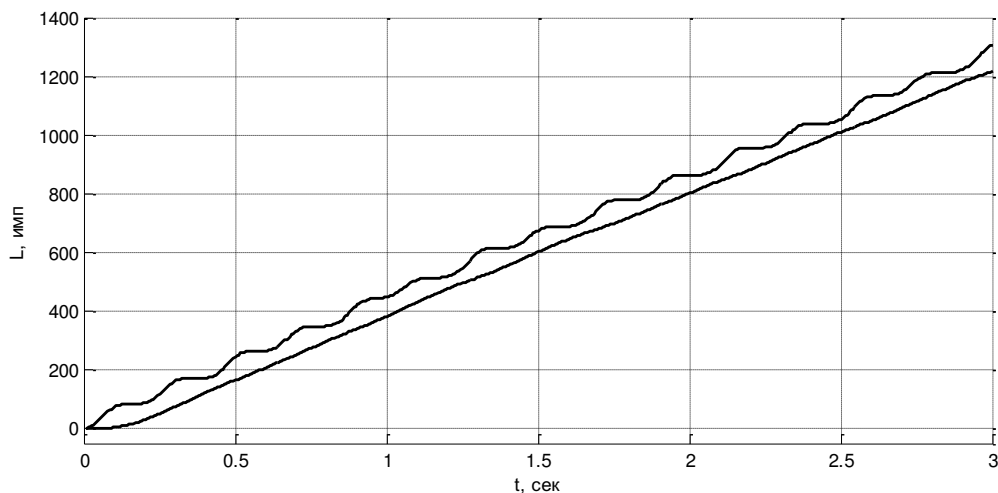


Рис. 7. Исходный сигнал по положению и после фильтрации

Разработанный полосно-заграждающий фильтр позволит снизить амплитуду колебаний управляющего сигнала, что приведёт к повышению ресурса оборудования, сохранив значение перекоса ворот в допустимых пределах. Дополнительный запас по значению перекоса может быть получен за счёт установки в нуль величины зоны нечувствительности нелинейного элемента.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электрогидравлические следящие системы/ Под ред. В.А. Хохлова.– М.: Машиностроение, 1971.– 432 с.
2. Черных И.В. SIMULINK: Среда создания инженерных приложений/ Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина.– М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003.– 496 с.

Статья поступила в редакцию 15 января 2014 г.

## AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF LOCK GATE MOVEMENT

**I.A. Danilushkin, S.A. Kolpaschikov, E.V. Melnikov**

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

*The automatic control system of lock gate movement is studied. The gate position during lifting and lowering is a plant. The system should provide the movement with a minimum alignment error. The paper contains a brief description of the equipment, the structure of the control system, the experimental data. The spectral analysis of signals present in the system is performed. Designed band-stop filter reduces the impact of noise on the formation of the control signal. A numerical study of the filter concludes its applicability.*

**Keywords:** lock gates, shipping lock, automatic control system, spectral analysis, band-stop filter, Butterworth filter.

---

*Ivan A. Danilushkin (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Sergey A. Kolpaschikov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Evgeny V. Melnikov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*