

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ ПРОГРАММНОГО НАПОЛНЕНИЯ КАМЕРЫ ШЛЮЗА

Существующие системы электрогидравлических приводов (ЭГП) подъемно-опускных ворот судоходных шлюзов имеют высокий коэффициент динамичности, особенно в системах с дроссельным регулированием скорости. ЭГП не обладают необходимой жесткостью механических характеристик, имеют недостаточную перегрузочную способность, что приводит к увеличению продолжительности шлюзования, особенно во время работы при минусовых температурах и неблагоприятных гидродинамических явлениях в бьефах, не обеспечивают плавного изменения скорости и ускорения, повторяемости циклов. Высокий коэффициент динамичности приводит к интенсивному износу тяговых органов и сокращению межремонтных сроков. Сложность исключения протечек масла, а значит и просадок рабочего органа, зависимость параметров привода от вязкости масла, трудность настройки и сохранения параметров регулирования золотниковой системы управления также отрицательно сказываются на эксплуатационных параметрах привода [1].

Режим наполнения камеры, имеющий место при головной системе наполнения и постоянной скорости подъема затвора, не является оптимальным для обеспечения благоприятных условий отстоя судов при шлюзовании, так как скорость подъема затвора остается постоянной независимо от водоизмещения шлюзуемых судов и уровней верхнего и нижнего бьефов.

Для обеспечения благоприятных условий отстоя судов в камере и увеличения пропускной способности шлюза следует изменить скорость подъема затвора во времени в зависимости от водоизмещения шлюзуемых судов и уровня бьефа. Расчетные зависимости высоты подъема затвора  $h_c$  от времени  $t$  для судов типа «Волга», «Волго-Дон» и судов малого водоизмещения и различных уровней бьефов были разработаны Ленинградским институтом водного транспорта и опробованы на ряде гидроузлов.

Шлюзование судов, при подъеме ворот в наполнение по графикам, близким к расчетным, исключает необходимость работы гребной установки судна без превышения допустимых нагрузок на швартовы. Диапазон изменения скоростей программированного подъема затвора определяется характеристиками шлюза, водоизмещением судна и уровнем воды в бьефах.

Для реализации оптимальных графиков подъема затворов при наполнении были применены частотно-регулируемые автоматизированные приводы с асинхронными короткозамкнутыми двигателями.

Применение частотных преобразователей, сочетающих в себе уникальные регулировочные качества, высокий технический уровень, надежность и невысокую цену, позволит обеспечить благоприятные условия отстоя судов в камере шлюза, создавать гибкие системы управления электроприводами для ворот и затворов СГТС. Преобразователи легко встраиваются в существующие системы, легко модифицируются и адаптируются в соответствии со всеми аспектами их применения. Широкий диапазон мощностей и различные варианты систем управления позволяют удачно их использовать для решения проблем автоматизации привода на СГТС.

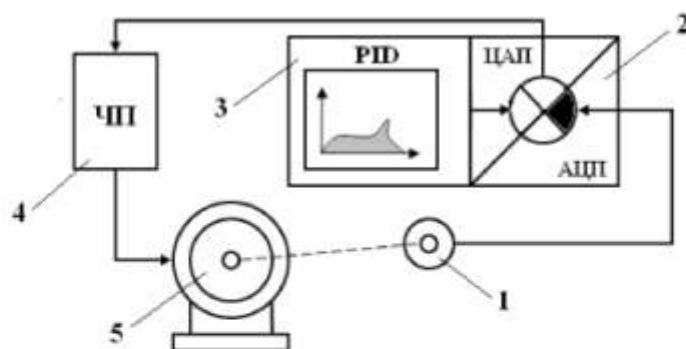
Управление гидроприводом подъемно-опускного затвора осуществляется с помощью изменения расхода рабочей жидкости за счет изменения частоты вращения электродвигателя, приводящего маслонасос. Такой привод обеспечивает подъем затвора с регулируемой скоростью при наполнении камеры, а также подъем и опускание затвора с постоянной скоростью в режимах закрытия и открытия подъемно-опускных ворот [1].

Привод состоит из двух асинхронных электродвигателей, каждый из которых управляется своим частотным преобразователем. Положение кромок затвора контролируются датчиками угловых перемещений. Реализация заданных графиков наполнения осуществляется с использованием программируемых логических контроллеров (ПЛК).

Управление приводом затвора осуществляется методом «ведущий-ведомый». Принципиальная схема управления «ведущим» и «ведомым» электродвигателями приведена на (рис.1;2).

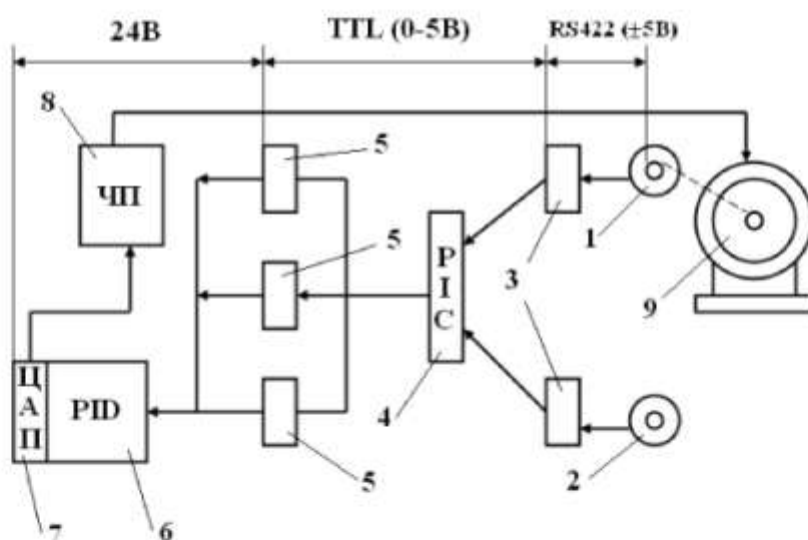
В память «ведущего» ПЛК закладывается тахограмма (рис. 3), по которой должен работать «ведущий» привод. В процессе работы измеряется текущая скорость вращения «ведущего» электродвигателя (рис. 4), ПИД-регулятор «ведущего» ПЛК, в зависимости от отклонения от заданной тахограммы формирует управляющий сигнал, подаваемый на частотный преобразователь «ведущего» электродвигателя. Датчики угловых перемещений контролируют текущее положение левой и правой кромок затвора, микроконтроллер сигнала ошибки формирует управляющий сигнал, пропорциональный углу рассогласования (рис. 5). Сигнал через ПИД-регулятор «ведомого» ПЛК поступает на частотный преобразователь «ведомого» электродвигателя. Он, в свою очередь, пропорционально полученному сигналу формирует частотный сигнал на «ведомый» двигатель. При отсутствии рассогласования двигатели работают на  $f = \text{const}$ ,  $n = \text{const}$ .

Рассмотренный принцип управления обеспечивает необходимую глубину регулирования, а введением обратных связей по положению затвора - жесткость механических характеристик. Контроллер позволяет формировать тахограмму движения затвора, обеспечивающую заданный коэффициент динамичности.



- 1 - «Ведущий» преобразователь угловых перемещений, модель ЛИР-ДА158
- 2 - Модуль ЦАП/АЦП – TWDAMM3HT
- 3 - Программируемый логический контроллер, модель TWIDO TWD LCA 40DRF
- 4 - Частотный преобразователь, модель FR-A540
- 5 - «Ведущий» АД

Рис.1. Схема управления «ведущим» электродвигателем



- 1 - «Ведомый» преобразователь угловых перемещений, модель ЛИР-ДА158
- 2 - «Ведущий» преобразователь угловых перемещений, модель ЛИР-ДА158
- 3 - Преобразователь интерфейса стандарта RS422 в стандарт TTL логики, модель MAX 490
- 4 - Микроконтроллер сигнала ошибки, модель PIC 16F877
- 5 - Аналоговые ключи MAX 333 A
- 6 - Программируемый логический контроллер, модель TWIDO TWD LCA 40DRF
- 7 - Модуль ЦАП, модель TWDAMO1HT
- 8 - Частотный преобразователь, модель FR-A540
- 9 - «Ведомый» АД

Рис.2. Схема управления «ведомым» электродвигателем

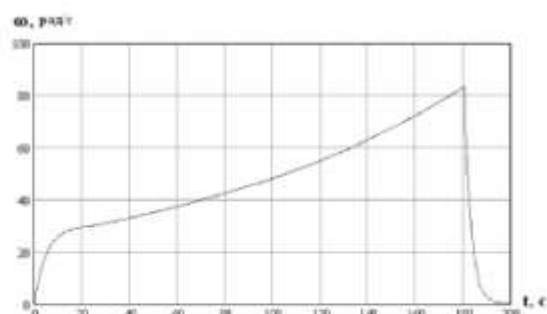


Рис.3. Тахограмма «ведущего» электродвигателя.

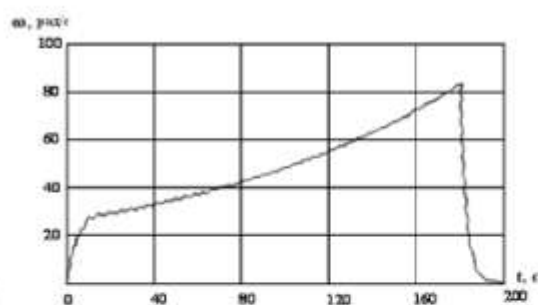


Рис.4. Тахограмма «ведомого» электродвигателя.

град.

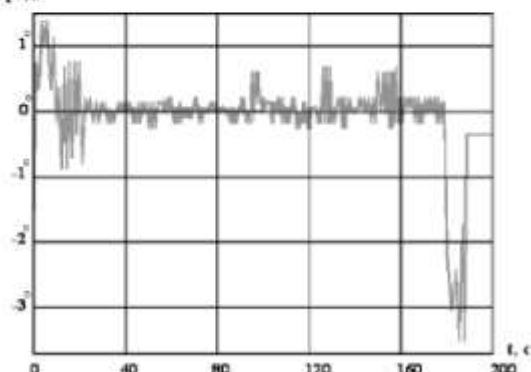


Рис.5. Рассогласование между положением «ведущего» и «ведомого» валов.

Полученные при экспериментальных исследованиях результаты показали:

- При исполнении заданной тахограммы максимальное рассогласование между углами поворота валов «ведущего» и «ведомого» приводов при пуске и торможении  $\approx 1^\circ$  (что при высоте подъёма 2,2м составляет 7мм);
- При резкой остановке максимальное рассогласование между углами поворота валов «ведущего» и «ведомого» приводов  $\approx 4^\circ$  (что при высоте подъёма 2,2м не превышает 25мм);
- Отклонение частоты вращения «ведущего» привода при исполнении заданной тахограммы в переходных режимах  $\approx 0,5^\circ$  рад/с.

Выводы:

1. Подтверждена возможность реализации любых нелинейных графиков подъема ворот в наполнение обеспечивающих благоприятные условия отстоя судов в камере и сокращение затрат времени на шлюзование.
2. Получены необходимые данные для наладки привода на благоприятные динамические режимы работы.
3. Для увеличения точности регулирования целесообразно использовать абсолютные энкодеры с числом штрихов измерительного лимба 8192 (например ХСС2510PS81SBN);
4. Для увеличения глубины регулирования асинхронного привода и обеспечения максимального момента на нулевой и низких частотах вращения целесообразно установить на валах АД инкрементальные энкодеры обратной связи к ЧП (оснащенных соответствующей опцией);
5. В качестве ЧП целесообразно применять преобразователи с векторным законом управления механическая характеристика которых во втором квадранте (генераторный режим) сохраняет свою жёсткость при низких частотах вращения, контуры тока и скорости которых имеют широкую полосу пропускания (например ЧП Altivar71);
6. Для обеспечения высокой точности регулирования, быстродействия и надежности в качестве ПЛК управляющих «ведомым» и «ведущим» приводами целесообразно использовать ПЛК серии Premium TSX с модулями обработки сигналов абсолютных энкодеров TSX STY2.

#### Список литературы

1. Муравьев В.М. Разработка адаптивного электрогидравлического привода для шлюзовых механизмов. «Наука и техника на речном транспорте», Сб. №9. М., «транспорт», 1993.