
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДАХ ВОРОТ И ЗАТВОРОВ НА СУДОПРОПУСКНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

Создание электропривода для технологических механизмов судопропускных гидротехнических сооружений (СГТС), наиболее полно отвечающего требованиям эксплуатации, является одной из актуальных проблем. Электроприводы ворот и затворов СГТС эксплуатируются в сложных условиях, отличающих их от электроприводов общепромышленных и других специализированных механизмов: относительной влажности до 100%; колебаниях температуры от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$; отсутствии квалифицированного обслуживающего персонала, повышенных требованиях в отношении простоты эксплуатации и надёжности работы как в технологических режимах, так и в аварийных режимах работы СГТС; высоких требованиях к жесткости механических характеристик и обеспечению допустимых динамических нагрузок; неопределенности цикла работы. Кроме того, электропривод двустворчатых ворот должен обеспечивать плавное и безударное створение ворот независимо от внешних условий, иметь диапазон регулирования скорости 10:1; привод подъемно-опускных затворов должен обеспечивать бесперекусное движение затвора и регулирование скорости в диапазоне 30:1, а при головной системе наполнения камеры - управление в режиме наполнения по закону, позволяющему реализовывать требуемый гидродинамический режим в камере шлюза, определяемый условиями безопасного отстоя шлюзуемых судов и составов; электропривод механизмов водопроводных галерей должен обеспечивать движение затворов в соответствии с расчетными режимами наполнения и опорожнения камеры шлюза и, при необходимости, регулирование скорости в диапазоне 5:1.

Из-за ограниченного количества судопропускных гидротехнических сооружений промышленное изготовление оборудования, отвечающего специфике его работы на СГТС, нецелесообразно, поэтому возникает необходимость в привязке серийного электрооборудования к условиям эксплуатации на судоходных шлюзах. К настоящему времени накоплен опыт эксплуатации тиристорных преобразовательных устройств в составе электроприводов технологических механизмов СГТС: двустворчатых ворот и подъемно-опускных затворов на Воронежском шлюзе, клинкетов наполнения на Пермском шлюзе, приводов подъемно-опускных затворов на Городецких шлюзах, двустворчатых ворот на Волгоградских шлюзах и др. [1,2,3]. Электроприводы с тиристорными преобразовательными устройствами имеют явные преимущества, однако и они по своим динамическим свойствам и стабильности работы еще не в полной мере удовлетворяют требованиям эксплуатации [4,5].

Появление современных полупроводниковых преобразовательных устройств открыло новые возможности для разработки регулируемых электроприводов для технологических механизмов СГТС. Естественным техническим решением регулируемого электропривода в современных условиях представляется частотно-регулируемый электропривод [6].

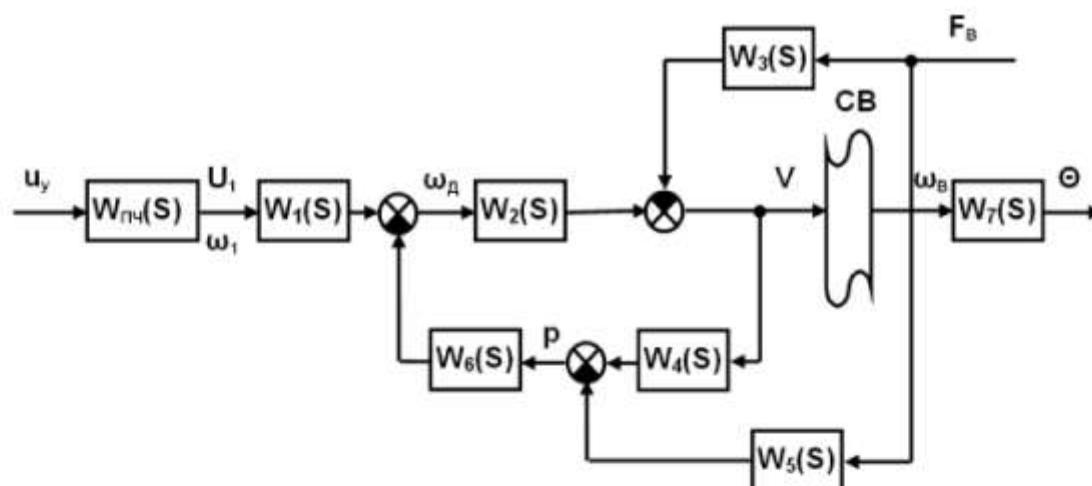
Анализ предлагаемых на российском рынке преобразователей частоты позволил установить, что для частотного регулирования скорости технологических механизмов СГТС можно использовать преобразователи частоты, работающие как в режиме источника напряжения, так и в режиме источника тока. При этом, если в электрогидравлических приводах ворот и затворов целесообразными представляются широко применяемые в общепромышленных и других специализированных механизмах системы "преобразователь частоты с автономным инвертором напряжения - асинхронный двигатель", то при использовании таких систем в электромеханических приводах подъемно-опускных затворов появляются проблемы в технологическом режиме опускания затвора в судоходное положение из-за трудностей обеспечения рекуперации электрической энергии в сеть. Поэтому в электромеханических приводах подъемно-опускных затворов и, при необходимости, механизмов водопроводных галерей предпочтительным представляется применение преобразователей частоты с автономными инверторами тока, в которых легко реализуются тормозные режимы двигателя с рекуперацией энергии в сеть. Из всех методов векторного частотно-токового управления для электроприводов подъемно-опускных затворов перспективным представляется векторное частотно-токовое управление с косвенной ориентацией по полю двигателя, а для электроприводов двустворчатых ворот и механизмов водопроводных галерей – как векторное частотно-токовое управление с косвенной ориентацией по полю двигателя, так и векторное частотно-токовое управление с прямой ориентацией по полю. Выбор той или иной структуры управления электроприводом в каждом конкретном случае определяется не только технологическими особенностями рассматриваемого механизма, но и всего гидротехнического сооружения в целом.

В настоящей работе рассматривается получивший широкое распространение на строящихся и реконструируемых СГТС электрогидравлический привод (ЭГП). В качестве рабочего органа выбраны двустворчатые ворота, являющиеся основным видом технологических затворов на большей части судоходных шлюзов. Разработана математическая модель частотно-регулируемого электрогидравлического привода двустворчатых ворот с автономным инвертором напряжения. При разработке модели была поставлена задача максимально приблизить структуру модели к реальным схемам исследуемых приводов СГТС. Действующие на приводы створок ворот

шлюза силы сопротивления условно разделены на внутренние, которые включают внутренние потери, приведенные к валу электродвигателя, и внешние. Внешние силы сопротивления в свою очередь разделены на механические и гидродинамические силы сопротивления, а также силы сопротивления от воздействия волн, ветра и т. д. Последние являются случайными для каждого исследуемого шлюза, поэтому в процессе разработки математической модели был накоплен статистический материал по волновым режимам в бьефах ряда СГТС, ветровым нагрузкам и заглублению створок ворот в течение нескольких навигационных периодов. Вероятностно-статистический анализ накопленного материала позволил предположить влияние указанных факторов на приводы механизмов нижних и верхних двустворчатых ворот в однокамерных и двухкамерных шлюзах и средних ворот в двухкамерных шлюзах.

Полная система уравнений, описывающая работу электрогидравлического привода с частотным управлением электродвигателем маслонасоса составлена из уравнений преобразовательного устройства, приводного электродвигателя и гидропередачи. При составлении модели приводного электродвигателя использованы уравнения идеализированной асинхронной машины, записанные в неподвижной двухосной системе координат. В основу математической модели гидропередачи положены дифференциальные уравнения неразрывности потока рабочей жидкости и уравнение движения механического звена. Состояние гидропередачи определено выходной координатой (скоростью штока гидроцилиндра и связанной с ним створки ворот) и функциональной координатой (перепадом давлений в полостях гидроцилиндра). Выделение функциональной координаты дает возможность выявить характерные особенности динамики ЭГП, когда его выходная координата равна нулю.

При использовании передаточных функций математическую модель разомкнутой системы электрогидравлического привода двустворчатых ворот СГТС можно представить в виде структурной схемы, представленной на рисунке, где $W_1(S)$ - передаточная функция приводного электродвигателя с учетом масс, жестко связанных с валом двигателя; $W_2(S)$ - передаточная функция гидросистемы; $W_3(S)$ - передаточная функция влияния возмущающего воздействия на скорость перемещения штока гидроцилиндра и связанного с ним рабочего органа (створки ворот); $W_4(S)$ - передаточная функция влияния скорости штока гидроцилиндра на давление; $W_5(S)$ - передаточная функция влияния возмущающего воздействия на давление; $W_6(S)$ - передаточная функция влияния давления на скорость приводного электродвигателя; $W_7(S)$ - передаточная функция влияния скорости штока гидроцилиндра на угол поворота створки ворот θ .



Структурная схема электрогидравлического привода двустворчатых ворот

На основании структурной схемы электрогидравлического привода двустворчатых ворот СГТС получены передаточные функции по управляющему и возмущающему воздействиям. В процессе математического моделирования установлено, что на режимы работы ЭГП двустворчатых ворот определяющее влияние оказывают заглубление створок ворот и волновые колебания уровня воды в подходном канале (бьефе). Выявлено, что при движении створки ворот в попутной волне действующий на привод створки момент сопротивления при определенной высоте волны имеет участок с движущим характером, что подтверждается экспериментальными данными натурных исследований электрогидравлических приводов нижних двустворчатых ворот Волгоградских шлюзов [2,4]. Рассмотрен метод формирования переменных в таком электрогидравлическом приводе, основанный на представлении преобразовательного устройства как скалярного, так и векторного. В качестве переменных рассматривались как векторы напряжения, так и векторы тока и потокосцепления. В ходе исследований установлено, что качество процессов управления в системе ЭГП двустворчатых ворот зависит от величины момента сопротивления, приложенного к створке ворот: чем меньше значение момента сопротивления, тем меньше запас устойчивости привода и наоборот. Получены динамические характеристики при пуске, анализ кото-

рых показал, что линейное нарастание расхода рабочей жидкости с постоянным (максимально допустимым) значением перепада давлений в полостях гидроцилиндра приводит к снижению колебательности в системе ЭГП. Установлено, что при движении створок ворот в попутной волне колебания усиливаются, а их уровень зависит от высоты волны. Анализ качества переходных процессов позволил установить, что разомкнутые системы электрогидравлических приводов двустворчатых ворот не обеспечивают стабильности динамических характеристик приводов при изменении внешних условий, и требуется введение корректирующих обратных связей.

Особенностью построения систем управления электрогидравлическими приводами двустворчатых ворот СГТС является то, что управляющий сигнал формируется в зависимости от внешних воздействий и уменьшает влияние этих воздействий на выходную и функциональные координаты ЭГП путем компенсации. При этом сложно учесть все случайные возмущения, поэтому для точной стабилизации выходной координаты (скорости створки ворот) необходимо реализовать систему автоматического регулирования с отрицательной обратной связью по скорости створки ворот. Предложена структура такой системы. При обработке возмущающего воздействия для ограничения переменных предлагаются различные структурные решения в соответствии с применяемой схемой ЭГП. Результаты исследований показали, что устойчивость ЭГП при произвольном сочетании значений управляющего и возмущающего воздействий может нарушаться, и в дальнейшем требуются более глубокие исследования в этом направлении.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Преобразователи частоты перспективны для электрогидравлических приводов технологических механизмов на судопропускных гидротехнических сооружениях.
2. Для электрогидравлических приводов двустворчатых ворот СГТС подтверждена возможность использования как векторного, так и скалярного принципов управления координатами.
3. Для электроприводов подъемно-опускных затворов СГТС показана целесообразность применения векторного управления координатами электропривода.
4. Предложены структуры замкнутых систем электрогидравлического привода двустворчатых ворот для обеспечения стабильности динамических характеристик ЭГП при изменении внешних условий.

Литература

1. Баштавенко В.А., Муравьев В.М., Парамонова В.И. Основные результаты исследований электрогидравлических приводов ворот и затворов шлюзов // Повышение надежности технических средств речного транспорта, сб. научных трудов Московского института инженеров водного транспорта. Москва, 1986. С. 96 – 105.
2. Парамонова В.И. Влияние эксплуатационных условий на режимы работы электрогидравлических приводов ворот и затворов судопропускных гидротехнических сооружений // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Выпуск 10. Харьков, 2003. С. 431-432.
3. Парамонова В.И., Власов Д.Г., Муравьев В.М., Сандлер М.С. Совершенствование регулируемого электрогидравлического привода на судоходных гидротехнических сооружениях России // Труды IV Международной (XV Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу «Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития», Магнитогорск, 2004. С. 127-129.
4. Парамонова В.И. Система управления положением рабочих органов регулируемых электрогидравлических приводов двустворчатых ворот судоходных шлюзов // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Выпуск 45. Харьков, 2005. С. 261-262.
5. Парамонова В.И., Власов Д.Г. Особенности режимов работы регулируемых электрогидравлических приводов технологических механизмов судоходных шлюзов // Труды V Международной (XVI Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу. Санкт-Петербург, 2007. С. 357-359.
6. Ильинский Н.Ф. Электропривод в современном мире // Труды V Международной (XVI Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу. Санкт-Петербург, 2007. С. 17-19.