

---

## ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА СУДОПРОПУСКНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

---

В настоящее время энергосбережение является одной из важнейших научно-технических проблем. Её решение средствами современных систем регулируемых электроприводов является общепризнанным [1]. Анализ энергосберегающих режимов таких систем приводов посвящено большое количество исследований ученых разных стран, однако результаты этих исследований не могут быть механически использованы для оценки режимов работы электроприводов технологических механизмов на судопропускных гидротехнических сооружениях (СГТС) с точки зрения энергосбережения. Анализ состояния электроприводов на судоходных гидротехнических сооружениях России приводит к выводу об их низком уровне энергосбережения. В большинстве случаев механизмы ворот и затворов имеют нерегулируемый электропривод, выполненный на базе асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, что характеризуется высоким уровнем потребления электрической энергии. Несмотря на актуальность проблемы энергосбережения, в этой части опубликованы лишь две работы [2, 3], в которых рассматриваются вопросы энергосбережения на судоходных гидротехнических сооружениях средствами регулируемых по частоте вращения электрогидравлических приводов. Принципиальная возможность регулирования подачи насоса изменением частоты вращения электродвигателя известна давно. Регулируемый по частоте вращения электрогидравлический привод (ЭГП) явился естественным техническим решением создания регулируемого электрогидропривода для шлюзовых механизмов. Разработки и исследования таких ЭГП проводятся в Московской государственной академии водного транспорта более 30 лет, однако результаты этих исследований не рассматривались с точки зрения энергопотребления.

В условиях перехода от дроссельного к регулируемому средствами электропривода ЭГП рабочих органов (ворот и затворов) [4] проблема энергосбережения приобретает особую актуальность.

В настоящей работе приводятся основные результаты исследований таких ЭГП в технологических режимах работы. В качестве объектов исследования выбраны электрогидравлические приводы механизмов двустворчатых ворот и подъёмно-опускных затворов СГТС России.

Для анализа энергетических показателей регулируемых ЭГП ворот и затворов судоходных шлюзов разработаны математические модели шлюзовых систем: «створка – механизм - электропривод» и «затвор – механизм - электропривод», учитывающие изменение момента инерции и момента сопротивления за счет присоединённых масс воды, зависимость момента сопротивления от технологических факторов и параметров системы, распределённую массу элементов оборудования, утечки в гидросистеме и сжимаемость жидкости, а также наличие газового фактора.

Моделирование позволило выполнить сравнительный анализ энергетических показателей различных систем электрогидравлических приводов на судоходных гидротехнических сооружениях. Приводятся результаты оценки потребления электрической энергии для различных технологических режимов работы шлюзовых механизмов и систем электропривода. Установлено, что определяющее влияние на энергопотребление оказывают технологические режимы створения ворот, а также движения затвора для наполнения камеры и в судоходное положение.

Рассматриваются режимы работы ЭГП с учетом характера момента нагрузки, имеющей при некоторых технологических условиях участок с движущим характером момента сопротивления. Проанализировано влияние технологических факторов на энергопотребление ЭГП в различных режимах работы. Установлено, что при движении створок в попутной волне и затвора в судоходное положение реализация режима энергосбережения ЭГП двустворчатых ворот и подъёмно-опускного затвора осуществляется за счёт снижения производительности маслонасосов средствами электропривода. Применение дроссельных устройств для этих целей приводит к увеличению потребляемой мощности в 2-3 раза, что согласуется с полученными натурными данными. При движении затвора для наполнения камеры и створки при встречной волне эффективность ЭГП затвора и двустворчатых ворот в значительной степени определяется законами управления.

Для изучения влияния законов управления на энергопотребление при моделировании использовались прямые, параболические и экспоненциальные зависимости. Эти исследования показали, что при направленном формировании тахограмм целесообразным с точки зрения потребления электрической энергии представляется пропорциональный закон управления. На основе проведенного анализа даются рекомендации по оптимизации энергопотребления в ЭГП ворот и затворов. Предлагаются энергетические критерии, реализуемые в системах автоматического управления ЭГП ворот и затворов. Обоснована необходимость введения коррекции для обеспечения энергосбережения. Полученные результаты моделирования и экспериментальные исследования замкнутой системы регулируемого ЭГП в условиях действующего шлюза подтверждают целесообразность реализации коррекции и возможности снижения энергопотребления.

Экспериментальные исследования электроприводов на СГТС затруднено и связано с простым судов, поэтому методика проведения экспериментальных исследований была построена на базе теории планирования эксперимента, что позволило при небольшом числе опытов получить основные характеристики привода для различных условий работы. Входными переменными при планировании эксперимента являлись технологические факторы: заглубление створок и перепад уровней на них для ЭГП двустворчатых ворот и перепад уровней в камере шлюза и верхнем бьефе, утечки в гидросистеме, перекос затвора – для ЭГП подъёмно-опускных затворов, выходными параметрами – потребляемая мощность, время технологической операции, скорость рабочего органа, давление в напорной и сливной полостях гидроцилиндра. Шаг варьирования по каждой переменной выбирался по результатам моделирования с учётом того, чтобы при вариации переменных от базового уровня на величину шага ни один вариант варьирования не привёл к нарушению технологического процесса шлюзования, а приращению величин выходных параметров к базовым значениям при реализации шага можно было выделить на фоне «шума» при небольшом числе параллельных опытов. Например, для нижних двустворчатых ворот Волгоградского шлюза № 30 были выбраны следующие шаги варьирования: по величине заглубления створки – 2 м, по величине перепада уровней на створке – 0,05 м.

Для планирования использован полный факторный эксперимент ПФЭ типа  $2^n$ , который обычно используют для построения математических моделей объектов. Исследования ЭГП проводились в несколько серий. В каждой из серий полностью реализованы матрицы планирования. Для исключения влияния возникающих систематических погрешностей перед реализацией планов на приводах применён разработанный в теории планирования эксперимента основной приём – рандомизация опытов по времени. После завершения эксперимента произведена проверка на его воспроизводимость по критерию Кохрена, которая дала положительный результат, подтвердив тем самым достоверность эксперимента.

Сравнение по энергетическим показателям способов регулирования скорости движения исполнительного механизма, основанных на непрерывном регулировании скорости электропривода и на изменении времени регулирования в различных технологических режимах его работы показало, что применение замкнутой системы регулируемого ЭГП с обратной связью по перепаду уровней в камере шлюза и подходном канале приводит к снижению потребляемой электроэнергии на 5÷15% (в зависимости от величины перепада уровней).

Сравнение энергетических показателей регулируемого по частоте вращения ЭГП и дроссельного показало, что при осуществлении регулирования средствами электропривода на судоходных гидротехнических сооружениях удастся добиться экономии энергии до 30%. При этом существенного энергосбережения - при использовании такого ЭГП для подъёмно-опускных затворов.

Технологические механизмы, не требующие регулирования по скорости с точки зрения технологии (например, механизмы водопроводных галерей), также целесообразно оснащать регулируемыми по частоте вращения ЭГП для реализации плавных пуска и остановки и режима энергосбережения. Реализация режима энергосбережения осуществляется в этом случае за счет снижения производительности маслонасосов при работе привода с пониженной нагрузкой.

Сравнение энергетических показателей разомкнутых и замкнутых систем ЭГП ворот и затворов показало, что введение обратных связей по перепаду уровней в камере шлюза и бьефах приводит к экономии энергии до 15%, а замыкание системы ЭГП обратной связью по перекосу затвора у ЭГП подъёмно-опускных затворов и рассогласованию створок у ЭГП двустворчатых ворот приводит к экономии энергии до 12%. Построена структура замкнутой системы энергосберегающего ЭГП для механизмов ворот и затворов, в которой реализованы выбранные законы управления, позволяющие дополнительно снизить потребление электроэнергии на 5-7%. Предложены варианты реализации обратных связей. Даны необходимые расчётные соотношения по выбору элементов обратных связей. Анализ работы регулируемых средствами электропривода ЭГП в различных технологических режимах показал, что режимы движения затвора для наполнения камеры и в судоходное положение, а также створок ворот в попутной волне можно отнести к энергосберегающим. Снижение потребляемой электроэнергии здесь достигает 40%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ильинский Н.Ф. Электропривод в современном мире // Труды V Международной (XVI Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу. Санкт-Петербург, 2007. С. 17-19.
2. Парамонова В.И. Энергосбережение при применении регулируемых электрогидравлических приводов на судоходных гидротехнических сооружениях // Вестник Национального технического университета «ХПИ» Выпуск 12. Харьков, 2002. С. 517.
3. Парамонова В.И. Энергосберегающий электрогидравлический привод ворот и затворов судоходных шлюзов // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Выпуск 10. Харьков, 2003. С. 493-494.
4. Парамонова В.И. Особенности применения преобразователей частоты в электрогидравлических приводах ворот и затворов на судопропускных гидротехнических сооружениях // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Выпуск 30. Харьков, 2008. С. 285-287.