

УДК 621.6(83)

Разработка следящих электрогидравлических приводов для быстродействующей редукционно-охладительной установки

09, сентябрь 2012

Мазурина М.Е.

*Студент,
кафедра «Гидромеханика и гидравлические машины»*

*Научный руководитель: Зуев Ю.Ю.,
к.т.н., доцент кафедры «Гидромеханика и гидравлические машины»*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
ggm@mpei.ru

Быстродействующая редукционно-охладительная установка (БРО) применяется для редуцирования и охлаждения пара, поступающего из котла в пароприёмник ТЭС, обеспечивая пуск, остановку энергоблока, их манёвренность при изменении нагрузки. Для перемещения запорно-регулирующих элементов (ЗРЭ) клапанных блоков БРОУ в РФ пока ещё применяются, в основном, электромеханические следящие приводы (ЭмСП), имеющие сложную кинематическую схему, низкое быстродействие, надёжность, работающие на пределе своих тяговых свойств [5]. Перспективной альтернативой являются электрогидравлические следящие приводы с дроссельным управлением (ЭгСП/Д), успешно применяющиеся на ТЭС в странах Западной Европы, Японии и США.

При разработке ЭгСП/Д для БРОУ необходимо обеспечить комплекс требований, определяющих функциональную пригодность системы приводов (показателей работоспособности – ПР), а также показателей конкурентоспособности (ПК) данных изделий. К перечню ПР относятся: энергопитание системы ЭгСП/Д от самостоятельной электронасосной установки (ЭНУ), поступательное движение выходных звеньев с требуемыми значениями полных ходов, стопорение звеньев при отказах, обеспечение энергодостаточности и динамической устойчивости. ПК системы приводов установлены: быстродействие, точность, чувствительность, способность к перегрузочным режимам, наличие структурных и параметрических резервов для сохранения работоспособности БРОУ на повышенных параметрах пара, простота эксплуатации, надёжность (обеспечиваемая резервированием), стоимость и сейсмостойкость.

Разработка системы приводов выполнялась поэтапно с соблюдением методологии системно-креативного подхода [1]. На первом этапе (концептуального синтеза) уточнялись исходные данные, в частности, определялись законы движения выходных звеньев и параметрия нагрузки ЭгСП/Д, анализировалась степень конфликтности частных ПК, было составлено техническое задание.

В рамках второго этапа структурного синтеза системы с использованием метода морфологической комбинаторики Ф. Цвикки были получены возможные структуры системы «электронасосные станции – совокупность ЭгСП/Д». Выбор конкурсных структурных вариантов как всей системы, так и отдельных частей (ЭНУ и ЭгСП/Д) осуществлялся с помощью введённых весовых коэффициентов и обобщённого аддитивного функционала конкурентоспособности согласно методике, изложенной в [2]. Предпочтительным решением была установлена ЭНУ с насосом постоянной подачи и блоком разгрузки, пневмогидравлическим аккумулятором и комплектом необходимой регулирующей, защитной и контрольной аппаратуры. В качестве наилучшего структурного решения ЭгСП/Д установлена совокупность одноштокового гидроцилиндра с подвижным корпусом и встроенным двухсторонним гидрозамком, к которому жидкость подводится через коллектор, расположенный на неподвижном штоке [2]. Такое решение позволяет присоединять механизм перемещения ЗРЭ практически в любой точке корпуса и даёт экранный эффект, защищающий полированный шток и узел внешней герметизации от воздействия пара. Встроенный гидрозамок отличается компактностью, высокой помехозащищённостью, надёжностью и живучестью. Конструктивная схема гидроцилиндра ЭгСП/Д с перечнем основных частей показана на [рис. 1](#).

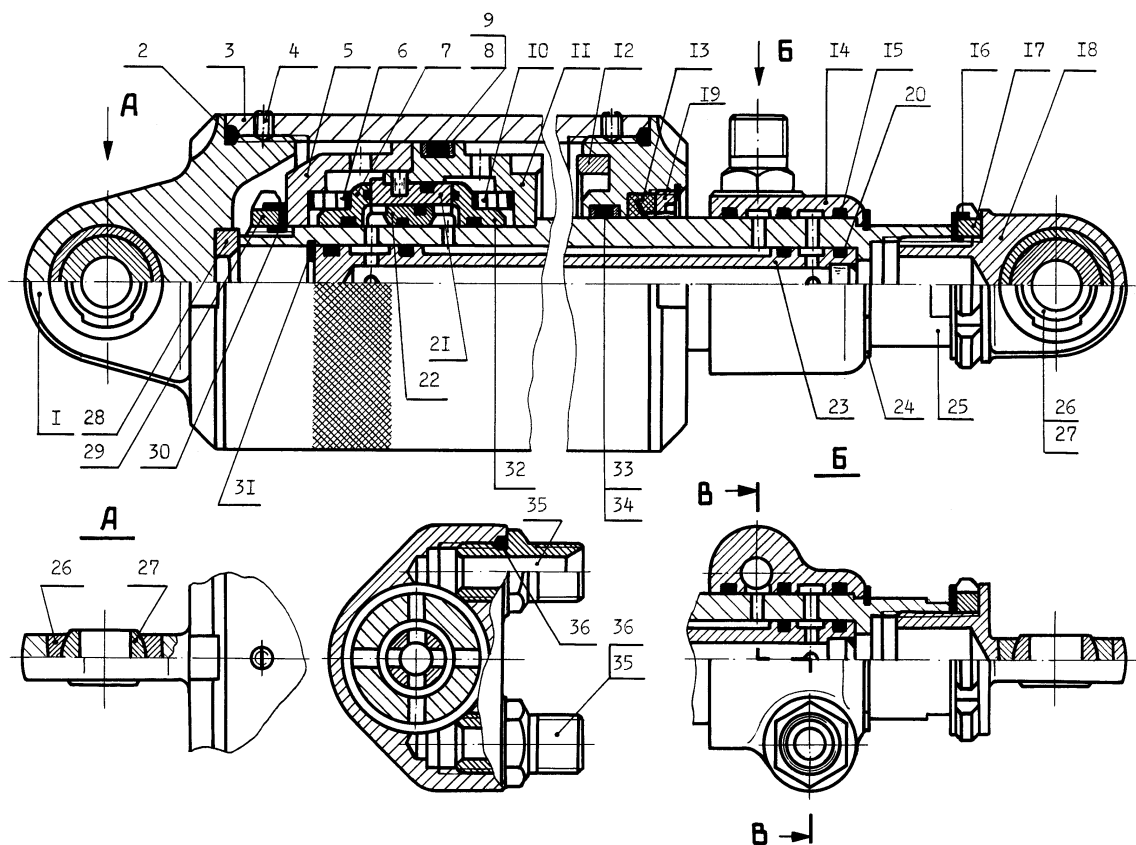


Рис. 1. Конструкция гидроцилиндра ЭгСП/Д: 1 – задняя крышка; 2, 8, 15, 33, 36 – кольца уплотнительные; 3 – корпус; 4 – винт контрольный; 5 – крышка поршня; 6, 10 – пружина; 7, 32 – тарельчатый ЗРЭ гидрозамка; 9, 34 – кольцо защитное; 11 – поршень; 12, 28 – кольцо упорное; 13 – грязесъёмник; 14 – корпус коллектора; 16, 30 – шайба; 17, 29 – гайка; 18 – проушина; 19 – гайка грязесъёмника; 20 – заглушка; 21 – корпус гидрозамка; 22 – толкатель; 23 – трубка; 24, 31 – кольцо пружинное; 25 – шток; 26 – втулка; 27 – втулка сферическая; 35 – штуцер.

Третий этап разработки системы приводов включал несколько стадий. Первая стадия – это обеспечение энергодостаточности каждого из ЭгСП/Д, входящих в систему приводов БРОУ, выполнялся из условия полного охвата механической характеристикой (МХ) соответствующего привода совокупности частных диаграмм нагрузки (ДН), расчёт каждой из которых базировался на известной структуре, параметрии нагружающих факторов и требуемых законах движения выходного звена привода [3]. Наибольшие сложности вызвало нахождение характерных законов движения, поскольку при использовании ЭмСП этому вопросу не уделялось должного внимания, а расчёт этих приводов производился по одной условно выбранной точке режима. Специальный анализ осциллограмм работы приводов в составе БРОУ показал, что типовыми законами являются симметричный гармонический закон и движение выходного звена привода в режиме согласования – переброски для рабочего и быстрого перемещения звена (разгон звена до требуемой скорости, далее движение с постоянной скоростью и, наконец, торможение), рассматриваемыми как отдельно, так и при наложении законов друг на друга. В качестве примера результат расчётов ДНХ одного из ЭгСП/Д установки показан на рис.2.

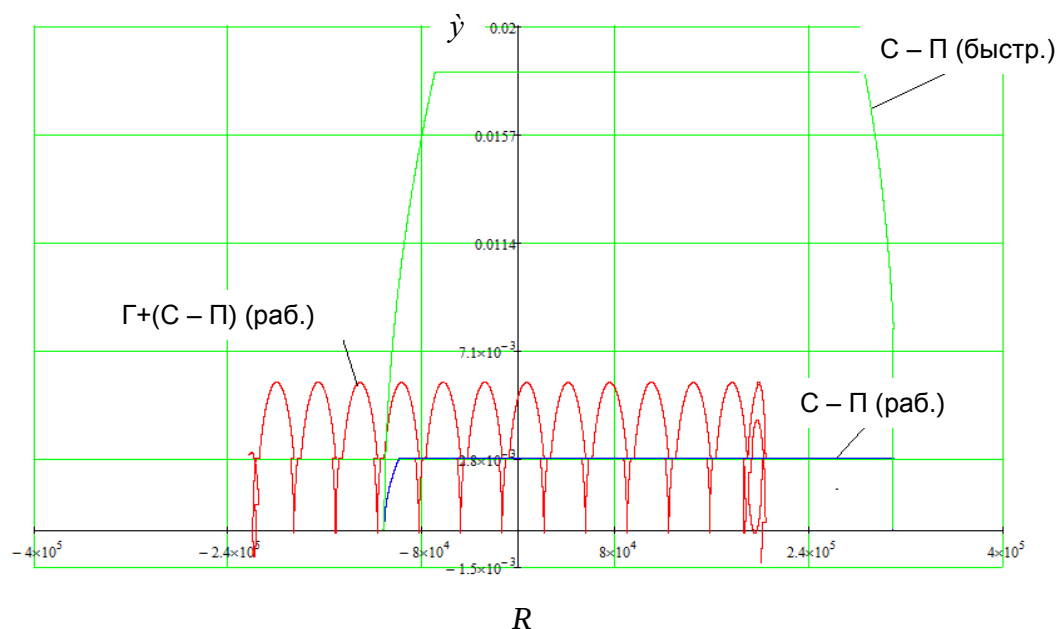


Рис. 2. Диаграммы нагрузки и механические характеристики ЭгСП/Д: R – нагрузка, Н; $\ddot{y}$ – скорость движения выходного звена, м/с.

В рамках второй стадии производился расчёт гидравлических параметров, прочности, жёсткости гидроцилиндров для приводов БРОУ, потребных расходов и подбор электрогидравлических усилителей мощности (ЭГУ). Расчёты гидроцилиндров выполнялись по общепринятой методике [2,5], определение требуемых характеристик ЭГУ – согласно [3]. Для комплектации первого ЭгСП/Д системы приводов БРОУ был выбран двухкаскадный ЭГУ D661 с электрической обратной связью (расход 80 л/мин, рабочее давление 35 МПа, зона нечувствительности не более 1,5 %, масса 5,6 кг, частота 90 Гц при фазовом сдвиге – 90 град и уровне входного сигнала 25%), а второго привода – однокаскадный усилитель с электрической обратной связью D633 (расход 2 л/мин, рабочее давление 35 МПа, зона нечувствительности не более 1,2 %, масса 2,6 кг, частота 70 Гц при фазовом сдвиге – 90 град и уровне входного сигнала 25%) фирмы MOOG [7].

Третья стадия параметрического синтеза включала расчёт динамики ЭГСП/Д. укомплектованных разработанными гидроцилиндрами и отобранными ЭГУ. В качестве первого приближения в расчётах использовались линейные модели, сформированные согласно известным методикам, изложенным в [3,4]. Частотные и временные характеристики ЭГСП/Д с ЭГУ D661 показаны соответственно на рис. 3,4, а для ЭГСП/Д с ЭГУ D633 – на рис. 5.6.

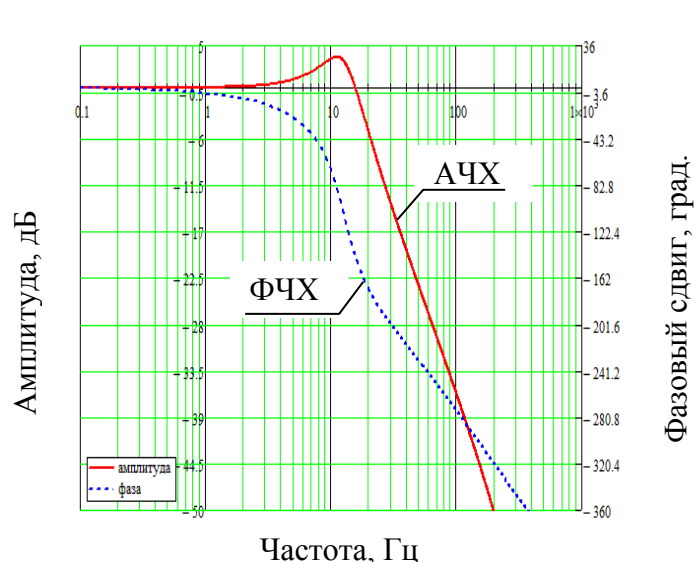


Рис.3. Амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики ЭГСП/Д с D661

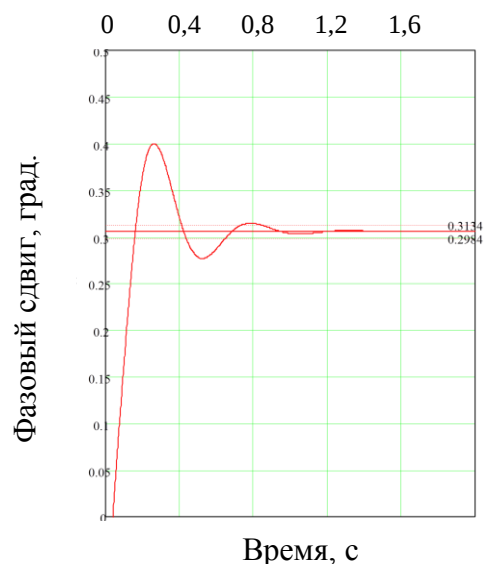


Рис.4. Переходный процесс ЭГСП/Д с D661

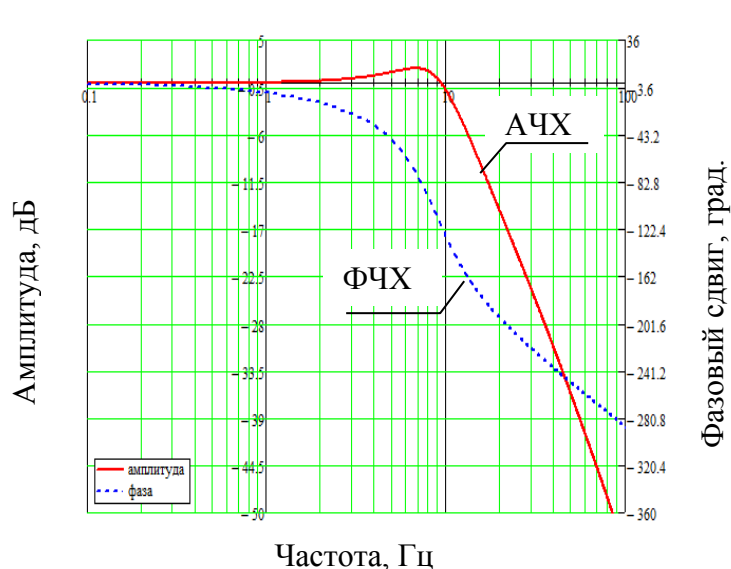


Рис.5. Амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики ЭГСП/Д с D633

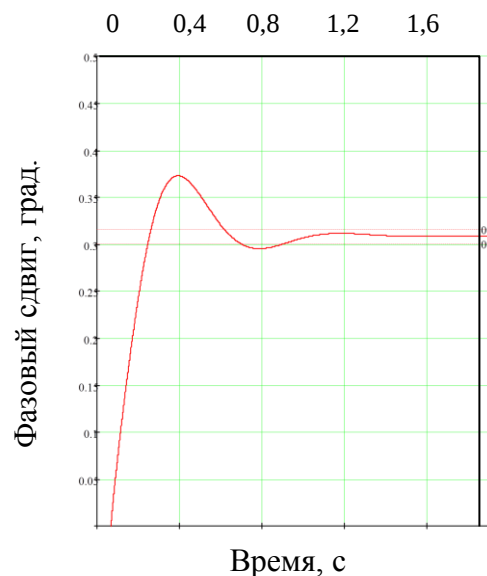


Рис.6. Переходный процесс ЭГСП/Д с D633

Для комплексной оценки конкурентоспособности рассматриваемого проектного решения был выполнен расчёт стоимости изготовления ЭгСП/Д как серийных изделий (взамен электромеханических приводов), а также степени надёжности новых приводов. В качестве аналога был выбран электромеханический следящий привод МЭП-40000/38-125, стоимость которого на российском рынке составляет 170 тыс. руб., причём для управления БРОУ необходимо иметь пару таких приводов, ресурс привода составляет 10 лет (данные взяты у фирмы-производителя ЭмСП – Курские ОАО «Прибор»). В то же время расчёт стоимости системы серийных ЭгСП/Д показал, что данный показатель находится в диапазоне 1 100 000÷1 200 000 руб. при ресурсе изделий 40 лет. На рис. 7 показано сопоставление стоимостных показателей для обоих видов приводов, из чего следует предпочтительность применения именно электрогидравлических следящих приводов.

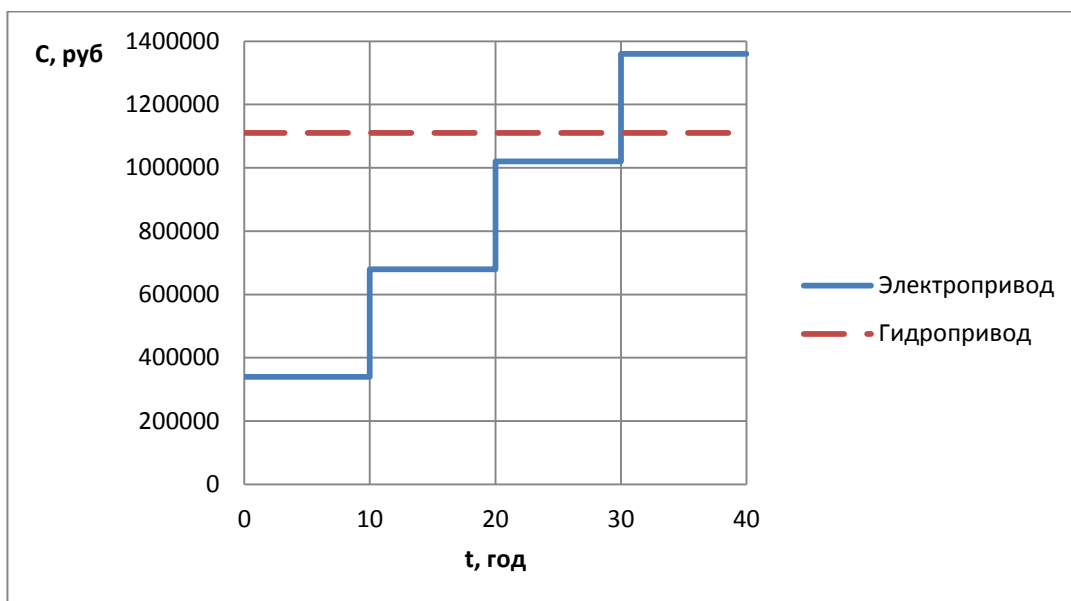


Рис. 7. Сопоставление затрат на приобретение и эксплуатацию системы электромеханических и электрогидравлических приводов для БРОУ в течение регламентированного периода времени

Определение надёжности выполнялось на основании расчёта времени безотказной работы методом структурных схем надёжности (ССН), изложенным в [6]. В частности, ССН для двух ЭгСП/Д, необходимых для работы БРОУ, показана на рис.8 (цифровые индексы означают принадлежность величины к первому и второму ЭгСП/Д БРОУ). Расчёты показали, что степень надёжности ЭгСП/Д заметно выше аналогичного показателя ЭмСП, в основном, за счёт исключения громоздкой и капризной в эксплуатации механической передачи.

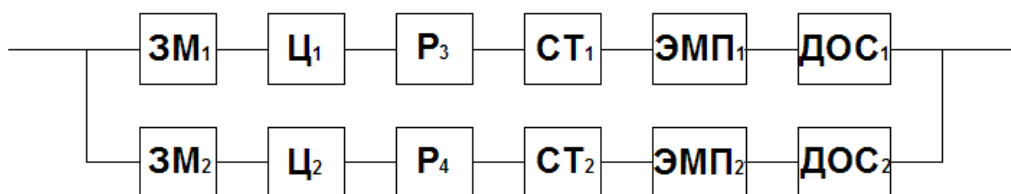


Рис. 8. Структурная схема надёжности системы из двух ЭгСП/Д БРОУ: $ЗМ_{1,2}$ – гидрозамки приводов; $Ц_{1,2}$ – гидроцилиндры приводов; $P_{1,2}$ – гидравлические распределители выходного каскада, входящие в состав ЭГУ; $СТ_{1,2}$ – гидроусилитель «струйная трубка» первого каскада усиления ЭГУ; $ЭМП_{1,2}$ – электромеханический преобразователь ЭГУ; $ДОС_{1,2}$ – датчики электрической обратной связи приводов.

В результате выполненной работы можно сделать следующие основные выводы.

1. Применение методологии системно-креативного подхода позволяет установить направления разработки электрогидравлических приводов, отличающихся повышенной конкурентоспособностью и за счёт рационального этапирования процедур реализовать решение в сжатые сроки.
2. Для целей определения предпочтительных структур на техническом и даже конструкционном уровнях формирования ЭгСП/Д весьма эффективна методика морфологической комбинаторики, которая легко алгоритмизируется и позволяет сформировать значительное число возможных решений и отобрать предпочтительные.
3. Используемая конструкция одноштокового гидроцилиндра с подвижным корпусом и встроенным гидрозамком оригинального исполнения выгодно отличается от традиционных схем цилиндров (с подвижным штоком) бóльшим удобством присоединения к подвижному узлу ЗРЭ, а также лучшими защитными (экранными) свойствами.
4. Раздельная компоновка двигательной и усилительной частей приводов с применением стандартных ЭГУ даёт возможность сформировать гамму ЭгСП/Д для современных БРОУ и с учётом повышения параметров пара.
5. По совокупности технико-эксплуатационных и экономических показателей функциональности и конкурентоспособности разработанная система ЭгСП/Д взамен существующих электромеханических приводов имеет более высокие энергетические, динамические, точностные характеристики, меньшую стоимость, повышенную надёжность, лучшую универсальность, а также обладает резервами для применения на перспективных РОУ с повышенными параметрами пара.

Литература

1. Зуев Ю.Ю. Основы создания конкурентоспособной техники и выработки эффективных решений: учеб. пособие / Ю.Ю. Зуев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006.
2. Зуев Ю.Ю. Практикум по эффективным технологиям инженерного менеджмента в инновационной деятельности: учеб. пособие/ Ю.Ю. Зуев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
3. Зуев Ю.Ю. Расчёт основных параметров и структурно-параметрическая коррекция электрогидравлического следящего привода с дроссельным управлением по совокупности показателей качества: учеб. пособие / Ю.Ю. Зуев. – М.: Издательство МЭИ, 2011.

4. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987.
5. Робожев А.В. Редукционно-охладительные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
6. Сырицын Т.А. Эксплуатация и надёжность гидро- и пневмоприводов: учебник. – М.: Машиностроение, 1990.
7. Каталог MOOG, 2008 г.