

УДК 681.523 (075.8) : 681.513.3

Г.И. КАНЮК, канд. техн. наук, Е.Н. БЛИЗНИЧЕНКО

Украинская инженерно-педагогическая академия (УИПА)

## РОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ И БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

У статті показана роль та засоби підвищення частоти регулювання та швидкодії ЕГСР, а також залежність річного економічного ефекту від підвищення ККД енергоблоку. Доведені результати синтезу прецизійного швидкодіючого регулятора САР Ч та П на основі рішення зворотної задачі динаміки об'єкту управління та його загальна структурна схема.

In a paper the role and ways of increase of accuracy of regulation and speed electrohydraulic regulating systems (EHRs), and also dependence of annual economic benefit on increase of efficiency of the generating set is shown. Results of synthesis of a precision high-speed regulator of automatic regulating systems of frequency and power are given on the basis of the decision of a return problem of dynamics of object of management and its general block diagram.

В последнее время на базе синтеза электрогидравлических исполнительных механизмов и электронных микропроцессорных систем управления интенсивно разрабатываются и внедряются в различные отрасли техники электронно-гидравлические следящие системы (ЭГСС) [1], представляющие собой разновидность общего класса мехатронных систем [2], основанных на синтезе механических и электронных процессов и устройств. Такие системы удачно сочетают в себе высокие удельные энергетические характеристики гидравлических исполнительных механизмов с интеллектуальными и информационными возможностями микропроцессорных систем управления. Это открывает широкие возможности повышения точности и быстродействия управляющих и технологических систем в различных областях техники.

Высокая точность и быстродействие ЭГСС позволяют использовать их в энерго- и ресурсосберегающих технологических системах практически во всех ключевых областях техники (подробно эти вопросы рассмотрены в работе [3]).

При использовании быстродействующих прецизионных ЭГСС в системах автоматического регулирования частоты и мощности (САР Ч и М) паровых турбин ТЭС и АЭС (при замене гидравлических систем регулирования на электрогидравлические) точность регулирования частоты и мощности может быть повышена от 0,3% до 0,06% (уровень, рекомендованный международными стандартами) [4]. Повышение точности регулирования в этом случае эквивалентно повышению КПД энергоблока за счет обеспечения соответствия между вырабатываемой и потребляемой мощностью (при этом имеет место соответствующая экономия топлива на единицу вырабатываемой «товарной» электроэнергии).

Годовой экономический эффект от повышения КПД энергоблока может быть оценен следующим образом:

$$\mathcal{E}_Г = N_n \cdot T_y \cdot U_3 \cdot \frac{\Delta\eta}{\eta} - \left( \frac{Ц_p + Ц_m}{T_3} + Ц_{ам} \right), \text{ грн/год,} \quad (1)$$

где  $N_n$  – номинальная мощность энергоблока, кВт;

$T_y$  – число часов использования установленной мощности в году, час/год;

$C_e$  – стоимость вырабатываемой электроэнергии, грн/кВт·ч;

$\eta$  – базовое (номинальное значение) КПД энергоблока;

$\Delta\eta$  – увеличение КПД за счет повышения точности регулирования (повышения степени соответствия вырабатываемой и потребляемой мощности).

Для энергоблока мощностью  $N_n = 1000$  МВт с базовым значением КПД  $\eta = 0,33$ , при  $T_y = 7000$  час/год и стоимости электроэнергии 3 цента за кВт·ч (мировой уровень) годовой экономический эффект от повышения точности регулирования с 0,3% (уровень, обеспечиваемый гидравлическими системами регулирования) до 0,06% (уровень, электрогидравлическими системами регулирования), эквивалентного повышению КПД на  $\Delta\eta = 0,24\%$ , составляет порядка 5 млн. грн.

Одновременно повышается качество (стабильность частоты) вырабатываемой электроэнергии и, соответственно, ее конкурентоспособность и прибыль от реализации на внешних рынках, а также образуется значительный экономический эффект у потребителей электроэнергии за счет повышения надежности, срока службы и качества функционирования электрических приборов.

Аналогичные эффекты достигаются при использовании быстродействующих прецизионных ЭГСС в системах автоматического регулирования подачи топлива в двигателях внутреннего сгорания (экономия и повышение эффективности использования топлива за счет более точной его дозировки).

В настоящее время на энергоблоках тепловых атомных электростанций используются электрогидравлические системы регулирования (ЭГСР) частоты и мощности, разработанные Харьковскими ПО «Турбоатом» и «Монолит». Эти системы имеют значительные резервы повышения качества регулирования и позволили приблизиться по ряду показателей к уровню международных стандартов. Вместе с тем, принципиально заложенные в ЭГСР резервы повышения точности и быстродействия используются не полностью. Это связано, с одной стороны, с использованием недостаточно эффективных алгоритмов управления исполнительными механизмами (алгоритмы пропорционального и интегрального управления), с другой стороны – нерациональными схемными и конструктивными решениями самих механизмов (общая система питания, низкие удельные энергетические характеристики, значительные габариты). В связи с этим, существующие ЭГСР имеют значительную погрешность регулирования мощности (до 5%) и недостаточно высокое быстродействие при увеличении нагрузки.

Традиционный регулятор САР Ч и М включает в себя две обратные связи – по положению отсечного золотника и сервомотора, при этом максимальное быстродействие системы не обеспечивается. Попытки использовать в традиционном регуляторе сигнала по производной от положения отсечного золотника (эквивалент его скорости) не привели к положительным результатам, поскольку практическое выполнение операций дифференцирования аналоговых сигналов связано со значительными техническими трудностями (проблема шумов).

В результате теоретических и экспериментальных исследований САР Ч и М установлено следующее [5]:

1). Для повышения быстродействия системы необходимо иметь регулятор третьего порядка, не включающий дифференцирующих звеньев и, по возможности, использующий минимальную информацию о параметрах объекта регулирования

(ограничение количества датчиков обратных связей). Использование регулятора третьего порядка позволит обеспечить максимальное значение суммарного коэффициента усиления системы, что положительно скажется и на ее статической точности.

2). Поскольку электронно-гидравлический контур САР Ч и М обладает статизмом, обусловленным перетечками рабочей жидкости в сервомоторе, а также может находиться под влиянием возмущающего воздействия (постоянная составляющая нагрузки на сервомоторе) и влияние этих факторов на статическую точность системы может быть существенным, то для повышения точности системы необходим астатический регулятор третьего порядка.

Наиболее эффективным в данном случае представляется использование регулятора, построенного на основе решения обратной задачи динамики управляемого объекта [7], поскольку такой принцип предполагает синтез регуляторов любого динамического порядка при любом порядке астатизма на основе информации по одному выходному параметру состояния (главная обратная связь) без использования операций дифференцирования (строится с использованием только пропорциональных и интегрирующих звеньев).

3). Для компенсации ошибок, связанных со статическими нелинейными характеристиками элементов электрогидравлического контура (зона нечувствительности, сухое трение и т.п.) предлагается использовать переменный суммарный коэффициент усиления регулятора (повышенное значение суммарного коэффициента в области малых уровней управляющих сигналов с дальнейшим переходом к номинальному значению).

4). Для компенсации систематических погрешностей датчика главной обратной связи (положения штока сервомотора) может использоваться программный блок коррекции в структуре управляющей ЭВМ, вычисляющий и учитывающий поправку показаний датчика в соответствии с его градуировочными характеристиками [3].

Функциональная схема прецизионного быстродействующего регулятора электрогидравлического контура САР и Ч и М, построенная с учетом изложенных выше соображений, приведена в работе [5].

В работе [6] приведены результаты синтеза прецизионного быстродействующего регулятора САР Ч и М на основе решения обратной задачи динамики объекта управления [7].

Общая структурная схема регулятора приведена на рис.1. Предложенный регулятор может быть реализован с использованием только пропорциональных и интегральных элементов [6] (без использования операций дифференцирования), что делает его эффективным в плане практической реализации.

В статическом режиме передаточная функция регулятора

$$W_3(S) = \frac{X_{гц}(S)}{X_{гц}^3(S)} = \frac{b_0}{a_{30}} = \frac{b_0}{a_{p0} + b_0} = \frac{b_0}{b_0} = 1 \quad (2)$$

Это означает, что статическая ошибка системы с синтезированным регулятором равна нулю, несмотря на наличие перетечек рабочей жидкости в сервомоторе. Наличие 1 % внутренних перетечек обуславливает статическую ошибку регулирования положения сервомотора до 0,1 %. Таким образом, предложенный регулятор делает систему регулирования астатической и позволяет повысить ее точность как минимум на 0,1 %.

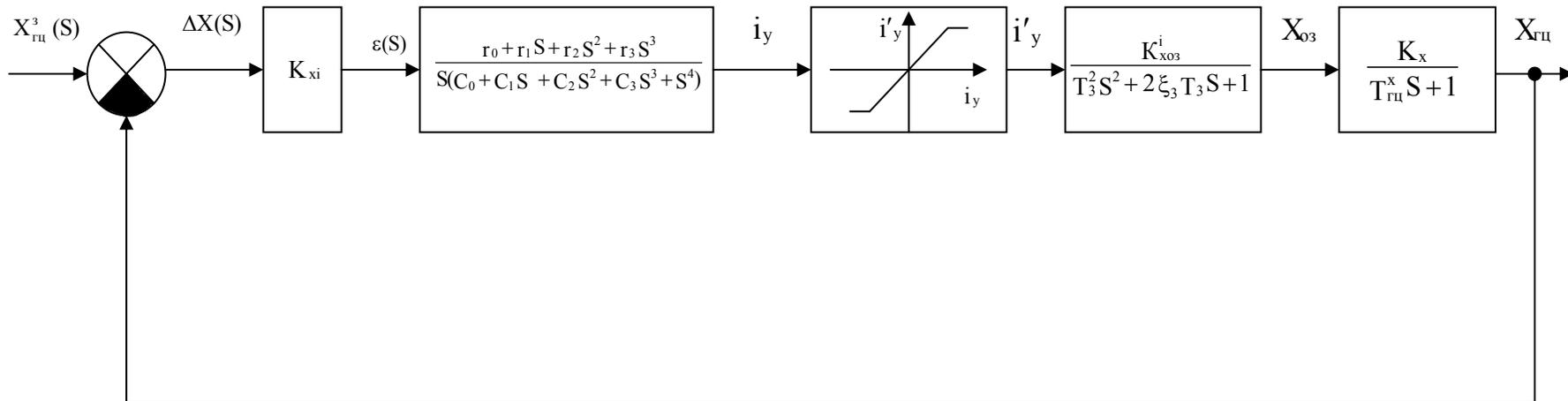


Рис. 1. Структурная схема электрогидравлического исполнительного механизма САР Ч и М с регулятором, построенным на решении обратной задачи динамики

На рис. 2 приведены переходные характеристики базового объекта и объекта с предложенным регулятором, параметры которого оптимизированы по критерию минимума интеграла от произведения абсолютного значения ошибки на время.

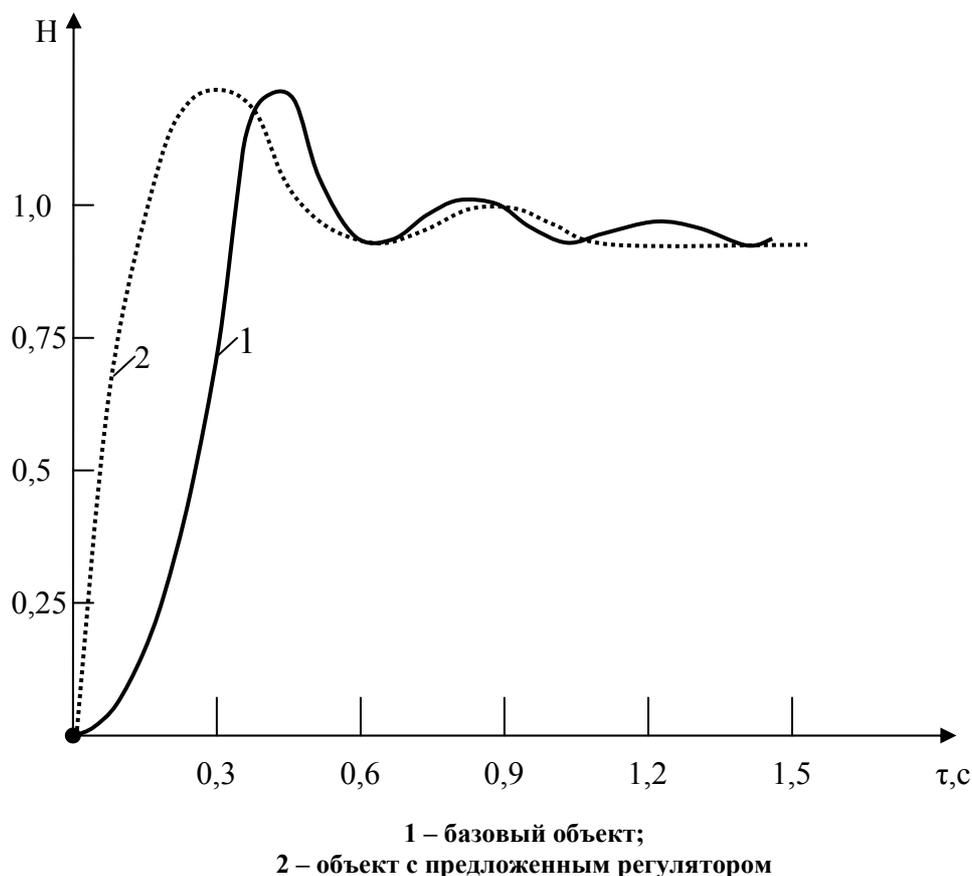


Рис. 2. Сравнение переходных характеристик базового объекта и объекта с предложенным регулятором

Система с предложенным регулятором имеет время первого согласования 0,12 с. и время регулирования 0,7 с., а базовый объект, соответственно, 0,3 с. и 1,5 с. Таким образом, предложенный регулятор обеспечивает более чем двукратное повышение быстродействия по сравнению с базовым вариантом. При этом максимальное перерегулирование в системе с предложенным регулятором на 12 – 15 % меньше, чем в базовом варианте, что свидетельствует о более высоком запасе устойчивости.

Таким образом, результаты исследований и оптимизации электрогидравлических систем регулирования САР Ч и М в плане повышения их точности и быстродействия, кроме повышения собственно показателей качества регулирования, могут обеспечить и значительные резервы энергосбережения на ТЭС и АЭС за счет повышения степени соответствия между вырабатываемой и потребляемой мощностью (1) (эффект у производителя электроэнергии), а также за счёт повышения качества (стабильности частоты) вырабатываемой электроэнергии (расширение экспортных возможностей производителя и эффект у потребителя электроэнергии).

Литература

1. *Канюк Г.И.* Перспективы использования электронно-гидравлических устройств в современных энерго-ресурсосберегающих технологических системах // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Вып. 44. – Харьков. – 1999. – с. 39-40.
2. *Иши Т., Симояна И., Иноуэ Х. И др.* Мехатроника: Пер. с япон. – М.: Мир, 1988. – 318 с.: ил.
3. *Канюк Г.И.* Технико-экономические аспекты разработки и внедрения быстродействующих прецизионных электронно-гидравлических следящих систем (ЭГСС) // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2004. – № 6(12). – с. 216-217.
4. *Канюк Г.И.* Повышение качества технических характеристик системы автоматического регулирования частоты и мощности (САР Ч и М) паровых турбин // Сборник научных трудов Института проблем машиностроения им. А.Н.Подгорного НАН Украины «Удосконалювання турбоустановок методами математичного і фізичного моделювання». – Харьков. – 2003. – с.55-59.
5. *Канюк Г.И., Кострыкин В.А., Близниченко Е.Н.* Моделирование и анализ технических характеристик электрогидравлической системы автоматического регулирования частоты и мощности (САР Ч и М) паровых турбин // Вестник Харьковского государственного политехнического университета «ХПИ». Тематический юбилейный вып. 6: «Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование». – Харьков. – 1999. – Вып. 44. – с. 39-40.
6. *Канюк Г.И., Близниченко Е.Н.* Синтез прецизионного быстродействующего регулятора электронно-гидравлического контура управления положением регулирующих клапанов паровых турбин // Энергетика и электрификация. – Киев. – 2005. – № 15. – с. 5-9.
7. *Крутько П.Д.* Обратные задачи динамики управляемых систем: Линейные модели. – М.: Наука, 1988. – 328с.: ил.

© Канюк Г.И., Близниченко Е.Н., 2006