

Д.т.н. Канюк Г.И., Попов М.А.

Украинская инженерно-педагогическая академия, Украина

**ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРНЫХ
АГРЕГАТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Улучшение технико-экономических показателей работы доменных печей является одной из важнейших задач металлургического производства. Повышение производительности и эффективности работы доменных печей достигается интенсификацией процесса плавки, немаловажная роль в котором принадлежит системам подготовки и подачи воздуха на колошники. Для уменьшения потерь теплоты в печи используется предварительный подогрев воздуха в регенеративных воздухоподогревателях. При повышении давления газов на колошнике снижается скорость их движения в шахте, улучшаются условия восстановления железа, снижается расход кокса и уменьшается вынос колошниковой пыли. При обогащении дутья кислородом повышается интенсивность горения кокса, ускоряются процессы восстановления кремния и марганца. Вдувание в горн природного газа и угольной пыли позволяет снизить расход кокса на 10-15% и увеличить производительность печей на 2-3%. При этом интенсивность и эффективность процесса доменной плавки и качество выплавляемого чугуна в значительной степени зависят от стабильности количества воздуха, подаваемого на колошник турбокомпрессорными агрегатами. Эта стабильность обеспечивается электрогидравлическими системами регулирования (ЭГСР), которые поддерживают постоянный заданный расход воздуха при изменении давления на колошнике путем соответствующего изменения частоты вращения турбины. В существующих ЭГСР обычно используются традиционные промышленные ПИД-регуляторы, формирующие закон управления

регулирующими клапанами турбины на основе информации об отклонении фактического расхода от заданного значения, а также производной и интеграла от отклонения. Традиционные ПИД-регуляторы обладают высокой чувствительностью к изменению параметров САР и не обеспечивают соответствующей адаптивной самонастройки коэффициентов регулятора. Поэтому при изменении параметров системы в процессе эксплуатации точность поддержания заданного расхода воздуха существенно уменьшается. Это приводит к снижению интенсивности и эффективности процесса плавки, ухудшению качества выплавляемого чугуна. При отклонениях фактического значения расхода воздуха от заданного нарушается оптимальный режим плавки, и для поддержания требуемой температуры в печи необходимо увеличивать расход кокса. При этом снижается КПД процесса и возрастает стоимость выплавляемого чугуна (в структуре его себестоимости порядка 40% составляет стоимость кокса). Норма расхода кокса на тонну выплавляемого чугуна составляет 490 кг. При номинальном значении расхода воздуха, стоимость 1 тонны кокса составляет 1870грн. в ценах 2010г. В печах без микропроцессорных электрогидравлических регуляторов отклонения значений расхода воздуха от номинальных составляют до 10%. При этом расход кокса и себестоимость чугуна повышаются в соответствующем соотношении. При среднегодовой производительности домны объемом 3000м³ до 2 млн. тонн чугуна, дополнительные затраты составляют порядка 150 млн. грн. в год. В печах с типовыми микропроцессорными электрогидравлическими регуляторами отклонения значений расхода воздуха составляют до 3%. При этом годовое снижение дополнительных затрат на выплавку чугуна составляет порядка 100 млн. грн. Однако, в процессе эксплуатации, при изменении технических параметров объекта и системы регулирования, не учитываемых традиционно используемыми типовыми промышленными регуляторами, точность регулирования расхода

подаваемого воздуха может снижаться в 2-2,5 раза (т.е. отклонение фактического расхода воздуха от заданного режимного значения может составлять 6-8%). В этом случае дополнительные затраты кокса на тонну выплавляемого чугуна могут составлять 30-35 кг. (в денежном выражении – 56-65 грн. в ценах 2010г.). Для домны объемом 3000 м³ с годовой производительностью 2 млн.т. чугуна в год дополнительные издержки составляют соответственно, 112-130 млн. грн. в год. Поэтому повышение статической и динамической точности электрогидравлических САР турбокомпрессорных агрегатов доменных печей представляет собой важную и актуальную научно-техническую задачу.

Проблема создания быстродействующих прецизионных электрогидравлических следящих систем (в т.ч. – ЭГСР частоты и мощности паровых турбин) посвящена докторская диссертация Г.И. Канюка [1]. Автором выполнены классификация рабочих процессов и конструктивных элементов электрогидравлических систем, систематизация, обобщение и уточнение их математических моделей. Разработана системная методика оценочных расчетов, позволяющая получать упрощенные, но достаточно точные математические модели различных уровней, необходимые для различных этапов задач анализа и синтеза, в т.ч. – для синтеза регуляторов. На этой основе получен иерархический ряд векторно-матричных моделей электрогидравлических исполнительных механизмов. Предложен принцип мультипликативного управления ЭГП по трем автономным контурам управления. На основе общих принципов современной теории оптимального управления (модальное управление, методы обратных задач динамики) предложены практические методики структурно-параметрического синтеза и получены эффективные алгоритмы управления ЭГСР с учетом нелинейных характеристик ограничения мощности управляющего сигнала при помощи метода гармонической

линеаризации. С целью уменьшения количества измеряемых параметров получены универсальные структурные схемы и формулы для расчета параметров эталонных моделей (наблюдателей состояния). На основе известных общих принципов управления по ускорению предложены структура и методика определения параметров универсального линеаризующего алгоритма управления, который максимально приближает параметры и характеристики замкнутой системы, включающий нелинейные элементы к характеристикам заданного закона эталонного движения. С целью повышения статической точности предложен способ нелинейной коррекции статической характеристики гидрораспределителя (компенсация отрицательного влияния положительного перекрытия золотника сервоклапана) путем использования в контуре управление корректирующего звена с переменным коэффициентом усиления, закон изменения которого реализуется в виде функции, обратной реальной нелинейной расходно-перепадной характеристике золотника. Показано, что этот способ позволяет значительно (в несколько раз) повысить статическую точность ЭГП без снижения быстродействия и запасов устойчивости, а также компенсировать отрицательное влияние на точность других статических линейных характеристик (сухое трение, люфты и др.). С целью уменьшения влияния погрешностей датчиков регулируемых параметров на точность ЭГСП предложена структура корректирующего устройства, основанного на компенсации систематических погрешностей датчиков путем сравнения их текущих показаний с параметрами градуировочной характеристики, содержащейся в памяти управляющей ЭВМ. Эффективность предложенных алгоритмов управления подтверждена циклом теоретических и экспериментальных исследований, а также внедрением на ряде предприятий машиностроительного и оборонного комплексов автоматизированных имитационных испытательных стендов, основу

которых составляют быстродействующие прецизионные ЭГП. Часть предложенных решений защищена авторскими свидетельствами и патентами Украины и России. Рассмотренные решения представляют значительный научный и практический интерес и могут эффективно использоваться при решении задачи повышения статической и динамической точности САР производительности турбокомпрессорных агрегатов доменных печей.

С учетом результатов выполненных научных исследований и практических инженерных разработок могут быть сформулированы следующие основные направления решения рассматриваемой проблемы.

1. В инженерном плане ставится задача повышения точности существующих электрогидравлических систем автоматического регулирования производительности турбокомпрессорных агрегатов доменных печей с 3 до 1 - 1,5% (в 2-3 раза). Решение этой задачи позволит снизить расход кокса на тонну выплавляемого чугуна на 30-35 кг. (в денежном выражении – 56-65 грн.) и обеспечить значительный экономический эффект: для домны объемом 3000м³ и производительностью 2 млн. тонн чугуна в год снижение затрат на выплавку составит порядка 130 млн. грн. в год (в ценах 2010 года). В масштабах Украины при объеме выплавляемого чугуна порядка 30 млн. тонн в год годовой эффект может составить около 1 млрд. грн.

Основные направления решения задачи повышения точности САР производительности турбокомпрессорного агрегата могут быть сформулированы следующим образом:

- усовершенствование конструкции исполнительного механизма ЭГСР путем замены инерционной и громоздкой системы электропривода основного золотника пропорциональным сервоклапаном с электрическим управлением, а также обеспечения непосредственной связи штока гидравлического сервомотора с системой регулирующих

клапанов за счет повышения давления в гидросистеме (соответственно усилия на штоке) и исключения сложной механической передачи между штоком сервомотора и траверсой;

- синтез прецизионного регулятора для ЭГСР на основе современных методов теории управления: мультипликативного и модального управления, обратных задач динамики, компенсации отрицательного влияния нелинейных характеристик объекта управления и исполнительного механизма.

2. В физическом плане ставится задача теоретических и экспериментальных исследований САР производительности турбокомпрессорного агрегата, оценка влияния различных факторов на ее точность и другие показатели качества управления.

3. В математическом плане необходимо разработать математические модели объекта управления (турбокомпрессорный агрегат) и системы управления, выполнить структурно-параметрический синтез, оптимизацию и сравнительный анализ алгоритмов управления электрогидравлическим исполнительным механизмом, которые могли бы обеспечить требуемое повышение точности САР.

Список использованных источников:

1. Канюк Г.И. Модели и методы структурного и параметрического синтеза прецизионных электрогидравлических следящих систем автоматизированных испытательных стендов: дис. на соискание науч. степени докт. техн. наук: спец. 05.13.07 / Г.И. Канюк. – Харьков, 2009. – 605с.