

УДК 681.51(075.8)

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ШТАТНОЙ И ПРЕДЛАГАЕМОЙ ДВУКРАТНО ИНВАРИАНТНОЙ САР РАЗРЕЖЕНИЯ В ТОПКЕ КОТЛА Е-75-3,9-440 ГМ БРЕСТСКОЙ ТЭЦ

Кулаков Г.Т., Кравченко В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для формирования нормального топочного режима необходимо поддерживать небольшое (до 20-30 Па) постоянное разрежение в верхней части топки парового котла. Это способствует устойчивости факела и служит показателем материального баланса между уходящими газами и подаваемым в топку воздухом. Участком объекта регулирования в этом случае является топочная камера с газоходами от поворотной камеры до всасывающих патрубков дымососов.

К внутренним возмущающим воздействиям относят нарушения газоздушного режима, к внешним – изменение расхода воздуха в зависимости от тепловой нагрузки агрегата. Регулирующим воздействием является изменение количества уходящих газов, отсасываемых дымососами. При этом их подачу можно регулировать за счет изменения частоты регулируемых электроприводов (ЧРЭП).

Максимальное распространение получила САР разрежения с одноимпульсными ПИ-регуляторами [1].

С точки зрения электрозатрат на привод наиболее экономичным является скоростное регулирование за счет изменения частоты вращения ЧРЭП по сравнению с дросселированным регулированием. Для достижения максимальной экономичности в этом случае предлагается модернизировать одноконтурную штатную САР разрежения в многоконтурную двукратно инвариантную систему относительно к наиболее опасному внутреннему возмущению и крайнему внешнему воздействию.

Ставим задачу убрать перерегулирование и снизить колебательность переходного процесса при отработке скачка задания, добиться полной инвариантности при отработке скачка наиболее опасного дополнительно измеряемого внутреннего возмущения, а также уменьшить не менее, чем в 2 раза модуль площади ошибки регулирования при отработке крайнего внешнего возмущения расходом пара.

Усредненные экспериментальные кривые разгона динамических характеристик по разряжению в топке при возмущениях частотой ЧРЭП были аппроксимированы по методам БНТУ [2, 3] инерционным звеном второго порядка для максимальной нагрузки котла:

$$W_{об1}(p) = \frac{K_{об1}}{(T_1 p + 1)(\sigma p + 1)} = \frac{42,1}{(5,3 p + 1)(2,7 p + 1)}. \quad (1)$$

Структурная схема штатной и предлагаемой двукратно инвариантной САР приведена на рисунке 1.

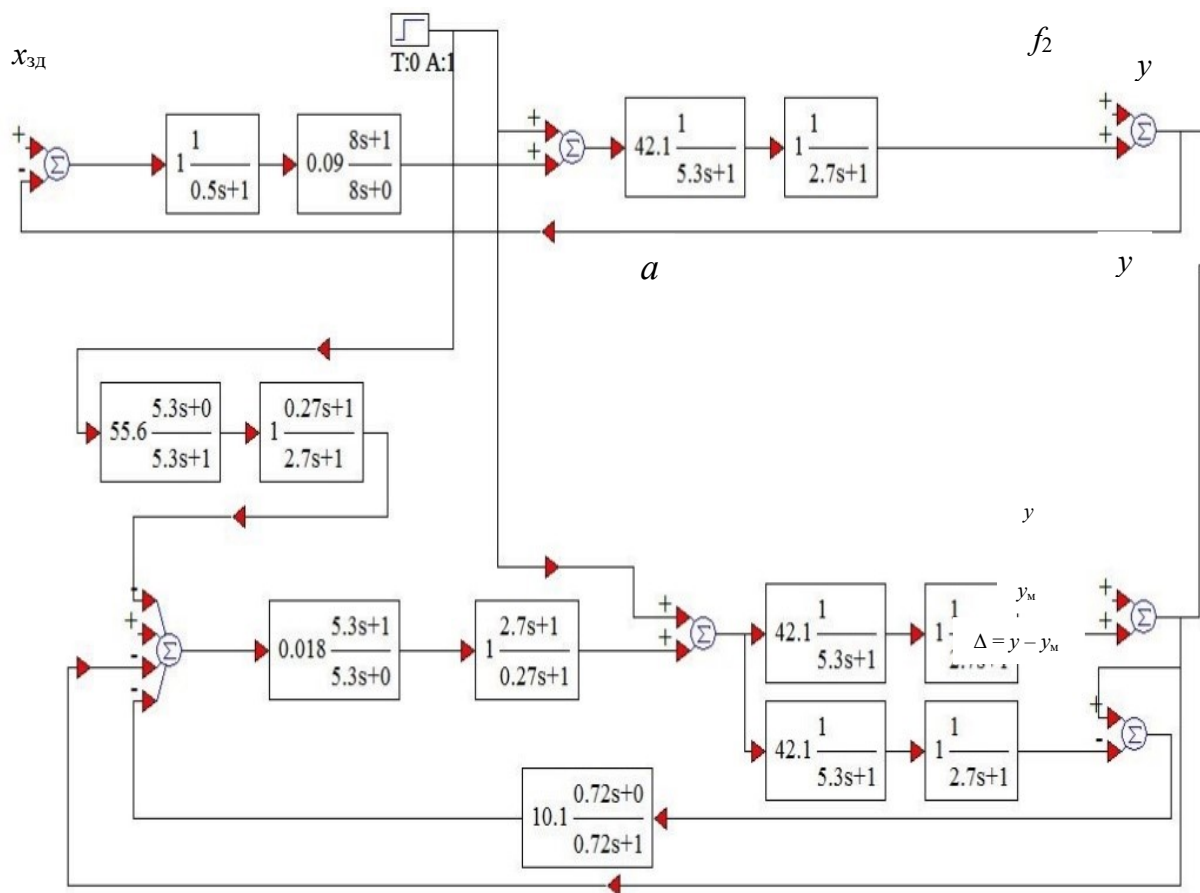


Рисунок 1 – Структурные схемы штатной (а) и предлагаемой двукратно инвариантной САР разрежения в топке котла Е-75-3,9-440 ГМ (б)

Если использовать передаточную функцию объекта в виде инерционного звена второго порядка (1), то нужно для повышения качества регулирования применить реальный ПИД-регулятор:

$$W_p^{opt}(p) = \frac{k_p (T_i p + 1)(T_d p + 1)}{T_i p (T_6 p + 1)},$$

где k_p – коэффициент передачи, T_i – время интегрирования, T_d – время дифференцирования, T_6 – балластная постоянная времени [4].

В этом случае для расчёта параметров его динамической настройки следует применять метод полной компенсации в частном виде:

$$T_i = T_1; T_d = \sigma; T_6 = T_d/10 [2].$$

При этом, если для отработки скачка задания допускается перерегулирование 4,3 % от скачка задания, то коэффициент передачи регулятора рассчитывают по формуле:

$$K_p = \frac{T_1}{4\zeta^2 K_{об1} \sigma} = \frac{T_1}{2K_{об1} \sigma},$$

что соответствует коэффициенту демпфирования $\zeta = \frac{1}{\sqrt{2}}$. Если перерегулирование не допускается, то применяют коэффициент демпфирования $\zeta = 1$.

Для существенного повышения качества регулирования при обработке крайнего возмущения нагрузкой котла параллельно передаточной функции объекта по каналу регулирующего воздействия формируем его полную модель, на вход которой с целью выделения внешнего эквивалентного возмущения подаём выход реального регулятора, а выход модели y_m подаём на вход дополнительного элемента сравнения (ЭС) с помощью отрицательной связи. На второй вход ЭС с плюсом подаём сигнал с выхода датчика основной регулируемой величины $y(t)$, а полученную разницу $\Delta = y - y_m$ подаём на вход реального дифференциатора инвариантности эквивалентного внешнего возмущения. Выход дифференциатора инвариантности подаём с минусом на вход реального ПИ-регулятора. При этом дифференциатор выполняет функцию устройства компенсации эквивалентного внешнего возмущения и имеет передаточную функцию:

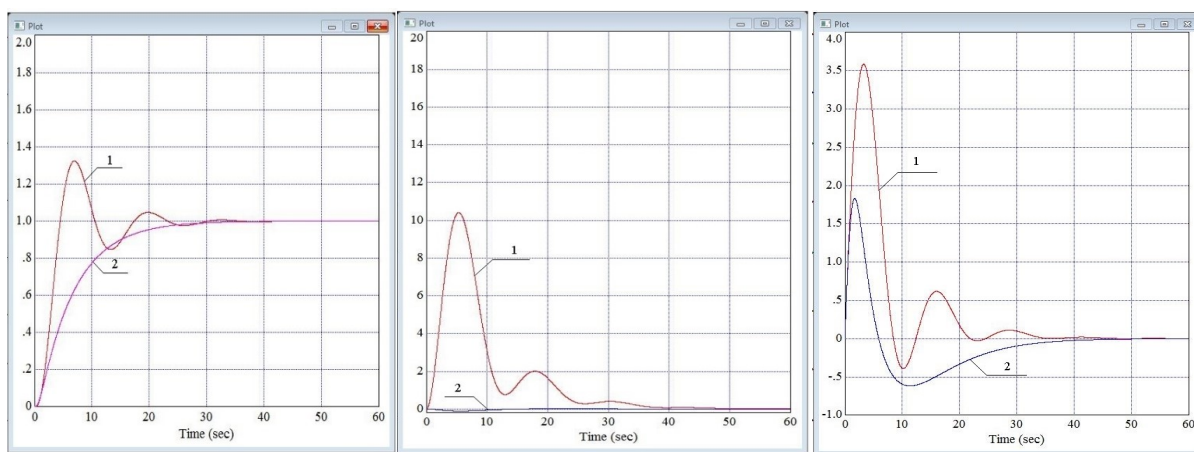
$$W_d(p) = \frac{K_d T_d p}{T_d p + 1},$$

где K_d – коэффициент передачи дифференциатора, T_d – время дифференцирования, численные значения которых рассчитывают по следующим формулам:

$$T_d = 0,09(T_1 + \sigma_1);$$

$$K_d = \frac{T_1 + \sigma_1}{T_d} - 1 \quad [2].$$

В результате чего достигается существенное повышение качества обработки крайнего внешнего возмущения.



а б с
 Рисунок 2 – Графики переходных процессов штатной (кривые 1) и предлагаемой двукратно инвариантной САР (кривые 2) при отработке скачка задания (а), внутреннего (б) и внешнего (с) возмущений

Графики переходных процессов штатной и предлагаемой двукратно инвариантной САР (ИСАР) приведены на рисунке 2, из анализа которых следует, что при отработке скачка задания ИСАР исчезает перерегулирование величиной 30 % от скачка задания (рисунок 2, а). При отработке скачка наиболее опасного внутреннего возмущения достигается полная инвариантность (рисунок 2, б). При отработке крайнего внешнего возмущения модуль площади ошибки регулирования ИСАР и максимальная динамическая ошибка регулирования уменьшается в 2,3 раза по сравнению со штатной САР.

Таким образом поставленная цель повышения качества регулирования достигнута и предлагаемую двукратно инвариантную САР разрежения в топке котла целесообразно рекомендовать для широкого внедрения на ТЭС ГПО «Белэнерго».

1. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – 4-е изд. стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.
2. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования: справочное пособие / Г.Т. Кулаков. – Мн.: Вышэйшая школа, 1984. – 192 с.
3. Кулаков, Г.Т. Теоретические основы экспресс-методов структурно-параметрической оптимизации систем автоматического управления для повышения эффективности использования тепловых электростанций в переменных режимах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора техн. наук: 05.13.07 и 05.14.14. Киев: КПИ, 1988. – 26 с.
4. Теория автоматического управления: учебное пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. Минск: Вышэйшая школа, 2022. – 197 с.