

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ПАРОГЕНЕРАТОРЕ

Урдабеков Шерзат

Urdabekov.sh@mail.ru

магистрант 2 курса Транспортно-энергетический факультет, кафедры Теплоэнергетика,
ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
Научный руководитель – К.О. Сабденов

Аннотация. Разработана методика создания системы автоматического регулирования (АСУ) уровня воды в парогенераторе. Разработана математическая модель проверки его работоспособности, позволяющая устанавливать максимальные отклонения уровня воды без проведения натурных испытаний, без корректировки настроек срабатывания отключения в зависимости от уровня воды в барабане. Рассмотрены зарубежные методы настройки ПИД-регулятора в каскадной системе автоматического регулирования уровня воды в барабане котла, на основе которых предложена инвариантная каскадная система автоматического регулирования. Предложена инвариантная Каскадная система Автоматического регулирования уровня воды в барабане котла. Результаты моделирования инвариантной каскадной системы автоматического регулирования по сравнению с КСАК, сконфигурированной по лучшей зарубежной методике, показали значительное улучшение качества регулирования при всех основных возмущающих воздействиях. Полученные результаты могут быть использованы при разработке адаптивных систем управления и других тепловых энергетических устройств.

Ключевые слова: Системы Автоматического Управления, Каскадная Система Автоматического Управления, ПИД-регулятор, Парогенератор, Уровень Воды, Передаточная функция.

Автоматизация энергетического оборудования электростанций осуществляется по многим направлениям, причем одним из основных является регулирование уровня воды в барабане котла (парогенератора). Качество регулирования уровня воды в барабанных котлах тепловых электростанций (ТЭС) и парогенераторах атомных электростанций (АЭС) во многом определяет надежность и эффективность работы тепловых электростанций и атомных электростанций. В соответствии с этим актуальными становятся вопросы существенного повышения качества регулирования уровня воды в барабане котла (парогенератора).

Трехимпульсные системы автоматического регулирования (САУ) уровня воды в барабане наиболее распространены на ТЭС и АЭС [1-3]. Применение классических регуляторов с жестким устройством обратной связи в этих САУ повышает устойчивость системы, но не обеспечивает качественного контроля уровня воды в барабане котла [4, 5]. Типичная трехимпульсная АСУ уровня воды в барабане котла имеет такие недостатки, как:

- необходимость наличия трех измерительных датчиков (уровня, расхода перегретого пара и питательной воды)
- наличие статической погрешности управления в конце переходного процесса при внутреннем возмущении, а также при внешнем возмущении расхода перегретого пара с явлением «набухания уровня» [3].

Для устранения указанных недостатков в работе [5] на примере АСУ котла БКЗ-210-140 предлагается использовать структурно-параметрическую оптимизацию каскадных АСУ. В этом случае устранение статической ошибки регулирования при развитии внутреннего возмущения осуществляется стабилизирующим регулятором, а устранение статической ошибки регулирования при отработке экстремального внешнего возмущения с явлением «набухания уровня» производится соответствующим выбором конструкции корректирующе-

го устройства, а также с коррекцией задач до последнего значения статической ошибки регулирования в момент стабилизации основного управляющего значения. Однако в этом случае интеграл модуля погрешности управления по уровню при испытании внешних возмущений хотя и меньше, чем в типичной трех импульсной САУ, однако существует возможность существенного улучшения качества регулирования уровня воды.

Материалы и методы: Из всех типовых алгоритмов управления ПИД-регуляторы обеспечивают наилучшее качество управления объектами теплоэнергетики. Каскадная система автоматического управления широко применяется в области автоматизации технологических процессов [6]. Уровень воды в барабане парогенератора при возмущении потоком питательной воды относится к объектам без самовывравнивания и описывается передаточными функциями идеального интегрирующего звена с запаздыванием

$$W_1(p) = \frac{e^{-\tau_1 p}}{T_1 \cdot p}$$

где, T_1 – постоянная времени интегрирующего звена; τ_1 – время задержки на канале регулирующего воздействия; p – Оператор Лапласа.

Кроме того, экспериментальная кривая по уровню воды в барабане котла при возмущении потока питательной воды может быть представлена в виде реального интегрирующего звена типа

$$W_1^*(p) = \frac{1}{T_1 \cdot p \cdot (\tau_1 \cdot p + 1)}$$

Динамика контролируемого объекта в условиях возмущения расхода питательной воды и перегретого пара парогенератора БКЗ-210-140 имеет следующий параметр: $\tau_1=21$ с ; $T_1=37$ с [3]. Передаточную функцию внешнего возмущения расхода перегретого пара с явлением «набухания уровня» воды в барабане котла можно аппроксимировать разностью передаточных функций инерционного звена первого порядка и идеального интегрирующего звена вида [4].

$$W_p^*(p) = W_2(p) - W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 \cdot p + 1} - \frac{1}{T_4 \cdot p}$$

где, $T_3=20$ с; $T_4 \approx 67$ с; $k_3 \approx 1,5$

В этом случае величина «набухания уровня» будет тем больше, чем больше численное значение коэффициента передачи инерционного звена первого порядка k^3 . Передаточная функция дымового возмущения имеет вид инерционного звена первого порядка

$$W_p(p) = \frac{k_3}{T_1 \cdot p + 1} = \frac{5}{30 \cdot p + 1}$$

Результаты моделирования переходных процессов электроснабжения КСАК котла при основных возмущениях с использованием пакета Simulink программного обеспечения MatLab представлены на рис. 2.

$$W_{ls}(p) = \frac{k_{ls}}{(T_{ls} \cdot p + 1) \cdot (\sigma_{ls} \cdot p + 1)} = \frac{1}{(10 \cdot p + 1) \cdot (1,2 \cdot p + 1)}$$

где K_{le} – коэффициент передачи; T_{le} – большая постоянная времени ведущий секции; δ_{le} – меньше постоянная времени основной участок. Структурная схема моделирования электроснабжения котла CSAC приведена на рис. 1.

где, k_p – коэффициент усиления возмущения; T_r – постоянная времени возмущения печи. Передаточная функция ведущего участка расхода питательной воды при резком движении регулирующего клапана имеет вид инерционного звена второго порядка

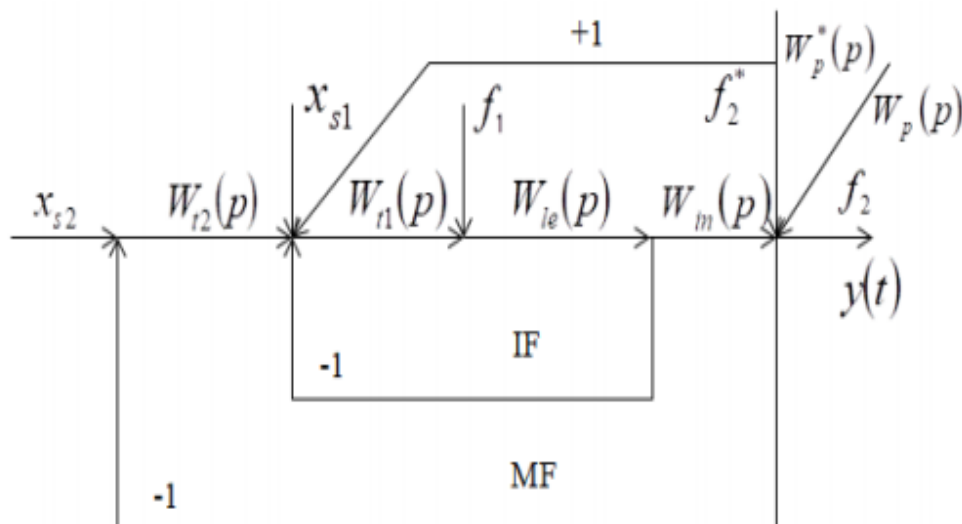


Рисунок 1 - Структурная схема моделирования питания котла топка

$y(t)$ – основная регулируемая величина (уровень воды в барабане котла); X_{s1} – заданное значение промежуточной регулируемой величины; X_{s2} – значение, установленное на главной управляемой переменной; f_1 – внутреннее возмущение; f_2 – внешнего дымоходавозмущений; f_2^* – внешнего возмущения расходом перегретого пара; $W_{r1}(P)$ – передаточная функция стабилизирующего регулятора;

$W_{r2}(P)$ – передаточная функция корректирующего регулятора; $W_{le}(p)$ – передаточная функция ведущего участка объекта регулирования; $W_{in}(p)$

– передаточная функция инерционного сечения объекта регулирования; $W_p(p)$ – передаточная функция внешнего возмущения горения; $W_p^*(p)$ –

передаточная функция внешнего возмущения потока перегретого пара; IF – внутренняя обратная связь; MF – основная обратная связь.

Обсуждение: Согласно [10], выбранный контроллер используется в следующих продуктах: Toshiba TOSDIC 200 product with $3,33 \leq N \leq 10,33$ (McMillan, 1994); Foxboro EXACT

Модель 761 изделия с $N = 10$ (McMillan, 1994); Honeywell T DC 3000 Process Manager изделия типа А ,интерактивный режим с $N = 10$ (ISMC, 1999), согласно которому численное значение коэффициента N будем принимать 10, так как при уменьшении балластной составляющей передаточной функции реальный контроллер в динамике приближается к идеальному.

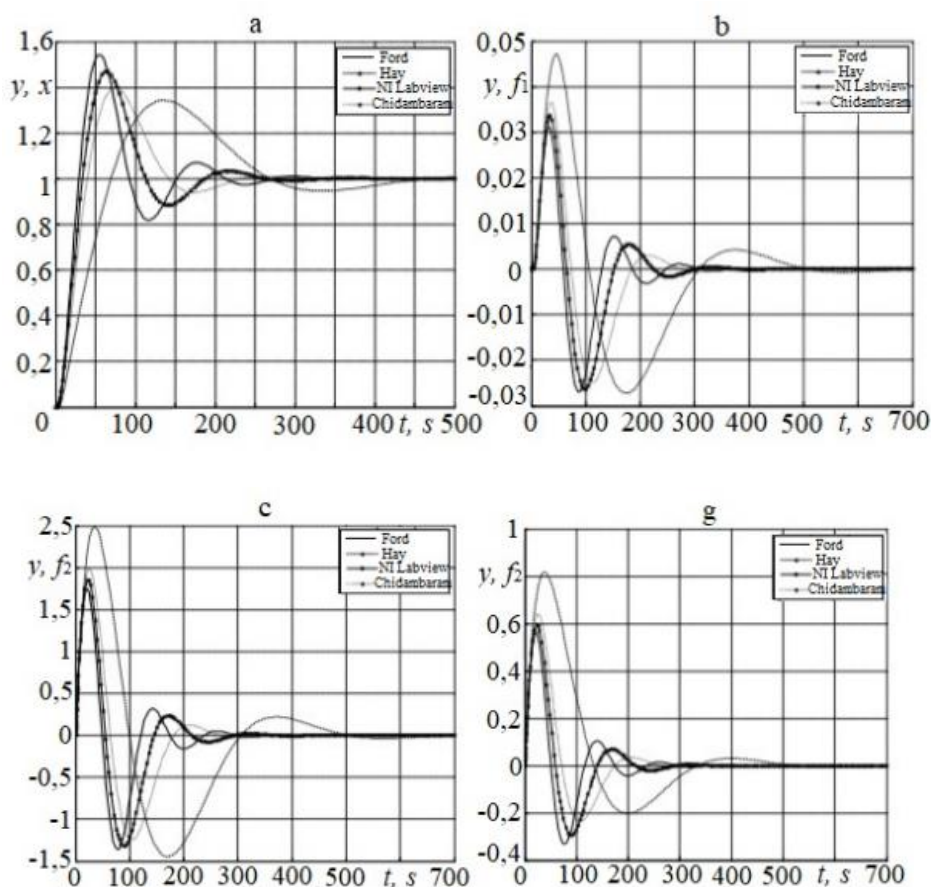


Рисунок 2 - Графики переходных процессов силового котла CSAC:

а – отработка прыжковых мастер-эффектов X_s ; б – отработка прыжковых внутренних возмущений f_1 ; с - практикующий скачок внешнего воздействия дымовых f_2 ; г - практикующий прыжок внешний поток возмущения перегретого пара f_2 ; t – время.

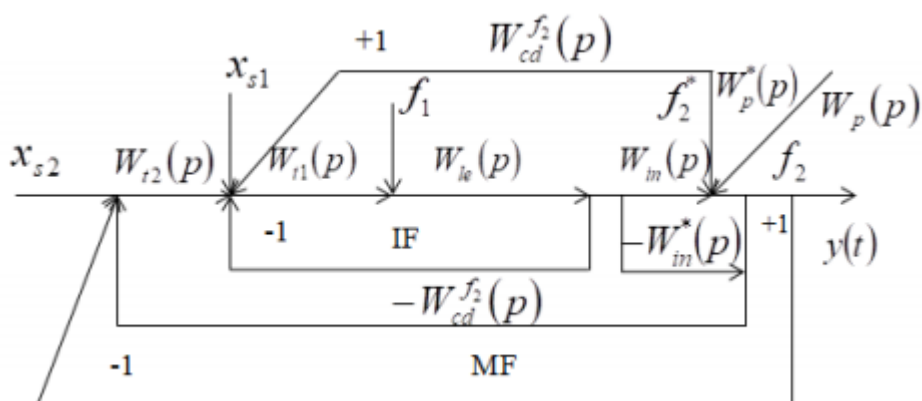


Рисунок 3 - Структурная схема моделирования инвариантного КСАС парогенератора:

$W_{cd}^{f_2}(p)$ – передаточная функция устройства компенсации внешних возмущений;

$W_{in}^*(p)$ – передаточная функция модели инерционного сечения объекта регулирования, адекватная $W_{in}(p)$ (другие обозначения на рис. 1)

Из графиков переходных процессов видно, что при развитии скачка задачи появляется перескок до 50%, минимальное время регулирования составляет 250 с. При отработке внутренних и внешних возмущений статические погрешности регулирования отсутствуют,

минимальное время регулирования составляет 300 секунд. Минимальные значения максимальной динамической погрешности регулирования составляют: при отработке внутреннего возмущения - от + 3,0 до -2,5%; при отработке внешних аналогичных возмущений - от +36,0 до - 25,0%; при развитии внешнего возбуждения с расход пара - от +58,0 до -22,0%. Лучший прямой показатели качества ключевых воздействий согласуются с Метод NI Labview. (2001) (Таблица 1) ($k_p=1,93$; $T_1=42$ с; $T_d=10,5$ с).

Возмущенные воздействия влияют на контролируемую величину, наиболее опасным из которых является нарушение потока перегретого пара, подаваемого на выход САУ. В инвариантной САУ влияние возмущения на регулируемую величину компенсируется введением дополнительного сигнала на вход регулятора с выхода компенсирующего устройства соответствующей структуры. Структурная схема моделирования предложенного инвариантного КСАК источника питания парогенератора приведена на рис. 3.

Результат: Сравнительный анализ результата моделирования КСАК с ПИД-регулятором, сконфигурированным наилучшим зарубежным методом (кривая 1), и предложенным инвариантным КСАК (кривая 2) представлен на рис. 4.

Из анализа переходных графов видно, что предложенный инвариант CSAC увеличивает скорость отклика при разработке скачка задачи в 2,5 раза. При этом максимальное значение перескока уменьшается с 42,5 до 10,0% по сравнению с лучшим зарубежным аналогом. При отработке внутренних возмущений время регулирования сокращается на 33 %, максимальная динамическая погрешность регулирования - на 65 %. Степень затухания переходного процесса возрастает с 0,85 до 1,00. Время на отработку внешнего возмущения печи сокращается вдвое; максимальная динамическая погрешность регулирования снижается на 63 %; максимальная динамическая погрешность регулирования при развитии внешних возмущений потоком перегретого пара - на 71 %, время регулирования сокращается в 1,5 раза.

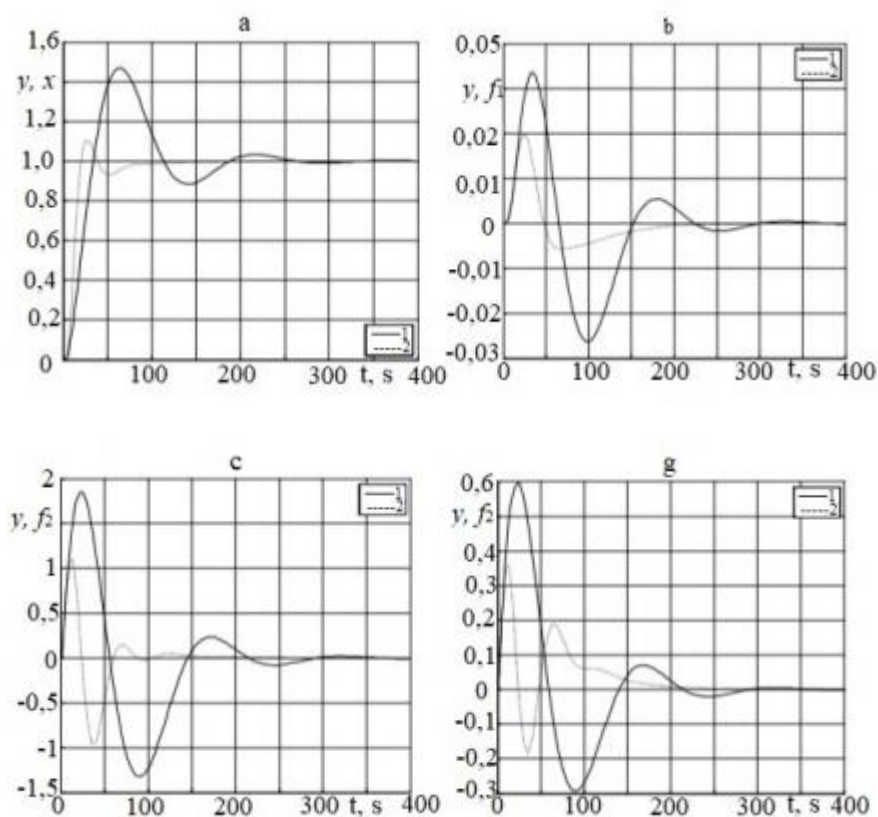


Рисунок 4 - Сравнительный анализ результатов моделирования КСАК с ПИД-регулятором и предложенным инвариантом КСАК:

a – обработка прыжковых мастер-эффектов x_s ; b – обработка прыжкового внутреннего возмущения f_1 ; c – обработка прыжкового внешнего возмущения дымохода f_2 ; g – время обработки скачка внешнего возмущения потока перегретого пара f_2 ; t – время, с; 1 – КСАК (рис. 1), где корректирующий регулятор оптимизирован по лучшему зарубежному аналогу [10]; 2 – инвариантный КСАК 146 Математического моделирования переходных процессов Системы Автоматического регулирования уровня воды в парогенераторе

Выводы.

1. Предложена инвариантная каскадная система автоматического регулирования уровня воды в барабане котла, отличающаяся от типовой тем, что:

- Структура и оптимальная динамическая настройка стабилизирующего регулятора выбираются на основе передаточной функции оптимального регулятора, а заданная постоянная времени критерия оптимальности выбирается по правилу золотого сечения, принимая в качестве интегральной переменной эквивалентную постоянную времени ведущего сечения;

- Структура и оптимальная динамическая настройка корректирующего устройства выбираются на основе передаточной функции оптимального регулятора с учетом передаточной функции эквивалентного объекта управления, включающего внутренний контур стабилизирующего регулятора. В этом случае передаточная функция корректирующего устройства соответствует произведению обратной передаточной функции эквивалентного объекта управления на заданную передаточную функцию разомкнутой системы на основное регулируемое значение;

- Передаточная функция модели инерционной части объекта управления в момент развития внешних возмущений потоком перегретого пара динамически представлена объектом управления с самовыравниванием;

- Структура передаточной функции устройства компенсации внешних возмущений соответствует обратной заданной передаточной функции разомкнутой системы и выбирается таким образом, чтобы не было необходимости дополнительно определять динамические параметры передаточной функции внешнего возмущения.

2. Результаты моделирования инвариантной каскадной системы автоматического регулирования по сравнению с КСАК, настроенной по лучшей зарубежной методике, показали значительное улучшение качества регулирования при всех основных возмущающих воздействиях.

Список использованных источников

1. Pelusi D., Mascella R., Оптимальные алгоритмы управления для системы второго порядка // Журнал вычислительной техники. - 2013. - Том. 9, №. 2. - С. 183-197.
2. Pelusi D. ПИД и интеллектуальных контроллеров для оптимальной производительности сроков промышленные приводы, международный журнал моделирование систем, науки и техники, объем. - 2012. – Том 13, № 2. - С. 65-71.
3. Демченко В. А. Автоматизация и моделирование технологических процессов на атомных и тепловых электростанциях. - Одесса: Астропринт, 2001. - 308 с.
4. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике. 4-е издание. М.: Изд-во Московского энергетического института, 2007. - 352 с.
5. Ротах В. Я. Теория автоматического управления. - М.: Изд-во МЭИ, 2008. - 396 с.
6. Kim T., Maruta I., Sugie T. Робастная настройка ПИД-регулятора на основе оптимизации ограниченного роя частиц, Automatica. – 2008. - Том. 44, №. 4. - С. 1104-1110.