

ВЫВОД

Делая окончательный вывод по выбору типа рекуператора, нужно заметить, что первостепенное значение имеет его тепловая производительность, или производительность печи. Так, для печей металлургического производства нет необходимости устанавливать чугунный рекуператор. Начиная с производительности печи (по садке) $P \geq 20$ т/ч по металлу должен устанавливаться трубчатый стальной петлевой рекуператор, который по своим эксплуатационным характеристикам всегда превосходит игольчатый чугунный. Как показали результаты сделанного анализа, трубчатый стальной рекуператор удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к такого вида теплообменному аппарату. Температура подогрева воздуха-окислителя при этом не должна превышать 300 °С (за исключением случаев, отмеченных ранее).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов, А. В. Нагрев стали в печах / А. В. Кузнецов // ЦНИИТМ. – М.: Машгиз, 1949. – С. 138–150.

Представлена кафедрой ПТЭ и ТТ

Поступила 4.04.2008

УДК 621.184.3+621.184.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ИНЕРЦИОННОГО УЧАСТКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ НА КАЧЕСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ЗА КОТЛОМ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗОК

Докт. техн. наук, проф. КУЛАКОВ Г. Т., асп. ГОРЕЛЫШЕВА М. Л.

Белорусский национальный технический университет

Износ основных производственных фондов Белорусской энергетической системы в целом составляет более 60 %. Актуальным становится вопрос построения таких систем автоматического регулирования (САР) температуры перегретого пара за котлом, которые бы изменяли свои свойства в процессе работы независимо от изменения параметров объекта, основных возмущающих воздействий и при этом работали в оптимальном режиме в широком диапазоне изменения нагрузок. Это позволит повысить экономичность, надежность и долговечность работы теплоэнергетического оборудования тепловых электрических станций (ТЭС) при переменных режимах работы.

Объекты управления ТЭС, как и подавляющее большинство технологических объектов, относятся к классу объектов с неполной начальной ин-

формацией об их динамической математической модели. Эффективность САР технологических процессов на ТЭС во многом зависит от качества динамической настройки автоматических регуляторов. Изменение динамических и статических свойств объектов регулирования требует изменения параметров оптимальных динамических настроек регуляторов. Причем такие изменения могут быть обусловлены разными причинами: старением оборудования; изменением состава топлива, а также нагрузок и режимов работы технологического оборудования.

САР с добавочными информационными каналами, по которым регуляторы получают сигналы от соответствующих вспомогательных регулируемых величин, получили широкое распространение в практике автоматизации технологических процессов. Наиболее распространенными являются каскадные системы и системы с дифференцированием промежуточных регулируемых величин. Типовая двухконтурная САР с дифференциатором в динамике при отработке основных возмущающих воздействий эквивалентна каскадной САР с корректирующим и стабилизирующим регуляторами. Традиционный расчет параметров оптимальной динамической настройки (ПДН) регуляторов такой системы базируется на предположении о возможности расчета одного контура независимо от другого.

При этом параметры оптимальной динамической настройки дифференциатора или стабилизирующего устройства (последовательно соединенные дифференциатор и фильтр в виде инерционного звена первого порядка) определяют по динамическим характеристикам инерционного участка пароперегревателя, входом которого является промежуточная регулируемая величина (температура перегретого пара за местом впрыска), а выходом – основная регулируемая величина (температура перегретого пара за котлом). После определения ПДН дифференциатора переходят к определению ПДН основного регулятора с учетом оптимального значения коэффициента усиления дифференциатора. Причем ПДН дифференциатора определяют, исходя из оптимальной отработки крайнего внешнего возмущения, приложенного к выходу объекта регулирования, а основного регулятора – из оптимальной отработки внутренних возмущений, поступающих на вход опережающего участка объекта регулирования совместно с регулирующим воздействием [1]. Качество регулирования температуры перегретого пара за котлом определяется в первую очередь динамическими характеристиками инерционного участка пароперегревателя, регулировочная способность которого зависит от численных значений относительной постоянной времени, равной отношению времени разгона переходной характеристики инерционного участка к величине запаздывания по каналу регулирующего воздействия.

Проведенные численные расчеты ПДН ПИ-регуляторов показали, что величина запаздывания при изменении относительной постоянной времени объекта регулирования в широком диапазоне существенно влияет на качество процесса регулирования [12].

Синтезу и анализу САР температуры перегретого пара за котлом посвящен ряд работ. В [3–7] предлагаются различные методы оптимизации систем регулирования температуры перегретого пара за котлом. Вместе с тем, исследованию влияния на качество регулирования САР

с ПИД-регулятором от изменения относительной постоянной времени объектов с запаздыванием уделено недостаточное внимание.

Наличие в объектах чистого запаздывания приводит к значительному ухудшению переходного процесса или к неустойчивости САР. Большинство инерционных участков объектов регулирования пароперегревателей по динамическим свойствам может быть представлено в виде последовательно соединенных звеньев – апериодического с передаточной функцией

$$W_1(p) = \frac{k_{об}}{T_{об}p + 1}$$

и звена чистого запаздывания с передаточной функцией

$$W_2(p) = e^{-\tau p},$$

где $k_{об}$ – коэффициент усиления объекта; $T_{об}$ – постоянная времени (время разгона); τ – время чистого запаздывания,

$$W_{об}(p) = \frac{k_{об}e^{-\tau p}}{T_{об}p + 1}. \quad (1)$$

Среди стандартных алгоритмов управления П-, ПИ- и ПИД-типов, получивших широкое распространение в области автоматизации теплоэнергетических процессов, в большинстве случаев наилучшее качество регулирования переходных процессов при основных возмущениях обеспечивают алгоритмы последнего типа (ПИД-регуляторы) [8].

Передаточная функция ПИД-регулятора имеет вид

$$W_p^{пид}(p) = \frac{k_p(T_i p + 1)(T_d p + 1)}{T_i p}, \quad (2)$$

где k_p – коэффициент усиления регулятора; T_i – время интегрирования; T_d – то же дифференцирования.

В основу моделирования положена структурная схема одноконтурной САР (рис. 1).

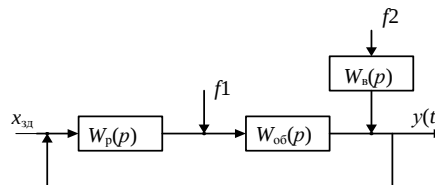


Рис. 1. Структурная схема одноконтурной САР: $W_p(p)$ – передаточная функция (ПФ) регулятора; $W_{об}(p)$ – ПФ объекта регулирования; $W_v(p)$ – ПФ канала действия внешнего возмущения; $x_{зд}$ – задающее воздействие; f_1, f_2 – внутреннее и внешнее возмущения

Целью данной работы является исследование влияния изменения относительной постоянной времени T объекта, изменяющейся в широких пределах (1–20), на качество регулирования при основных возмущениях и отработке скачка задания в системе с ПИ- и ПИД-регуляторами, настроен-

ными разными методами. Относительная постоянная времени T объекта регулирования определяется по формуле

$$T = \frac{T_{об}}{\tau}. \quad (3)$$

Существует большое количество различных методов расчета параметров оптимальных динамических настроек регуляторов (ПНР) [7, 9–12]. Расчетные алгоритмы чаще всего используются для определения ПНР по характеристикам объекта регулирования, итерационные – для определения оптимальных ПНР по характеристикам системы.

Ряд методов оптимизации одноконтурных САР на отработку внутреннего, внешнего возмущения и задающего воздействия был разработан в [2].

Для оптимизации ПИ- и ПИД-регуляторов используем метод полной компенсации (МПК) в общем виде [13]. В качестве критерия оптимальности МПК в общем виде используют последовательное соединение звена чистого запаздывания и инерционного звена первого порядка с заданием времени разгона $T_{зд}$. При этом для объектов регулирования с передаточной функцией в виде инерционного звена первого порядка с запаздыванием расчет параметров оптимальной динамической настройки ПИД-регулятора производят по формулам [12]:

$$T_{и} = T_{об}; \quad (4)$$

$$k_p = \frac{T_{об}}{k_{об}(T_{зд} + \tau)}; \quad (5)$$

$$T_d = \frac{0,5\tau}{1 + \frac{T_{зд}}{\tau}}. \quad (6)$$

Система с ПИ- и ПИД-регуляторами настраивается на отработку задающего воздействия и внешнего возмущения по методам [13] и [7]. Следует отметить, что при расчете настроек ПИД-регулятора по методам [7] передаточная функция регулятора имеет следующий вид:

$$W_p^{пид}(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_{и}p} + T_d p \right). \quad (7)$$

На рис. 2 представлены переходные процессы системы регулирования с ПИ- и ПИД-регуляторами при отработке задающего воздействия.

Из анализа графиков переходных процессов САР (рис. 2; кривые 3, 4) следует, что при изменении относительной постоянной времени $T = 1–20$ характер переходного процесса не изменяется. Перерегулирование в системе с ПИД-регулятором, настроенным по методам [13] при выборе $T_{зд} = \tau/2$, равно нулю. В другом случае, когда система настроена по методам [7] (рис. 2; кривые 1, 2) при $T = 1; 10; 20$, характер переходного процесса также не изменяется.

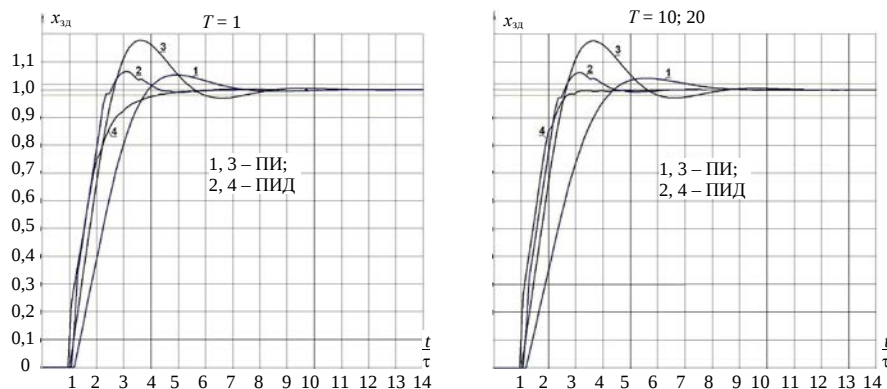


Рис. 2. Графики переходных процессов системы регулирования с PI- и PID-регуляторами при обработке задающего воздействия: 1, 2 – PI- и PID-регуляторы, настроенные по методам [7]; 3, 4 – PI- и PID-регуляторы, настроенные по методам [13]

На рис. 3 представлены графики переходных процессов в системе с PI- и PID-регуляторами при обработке крайнего внешнего возмущения. Из (рис. 3; кривые 3, 4) видно, что при увеличении относительной постоянной времени объекта $T = 1-20$ время регулирования в системе с PI- и PID-регуляторами, настроенными по методам [13], и максимальная динамическая ошибка регулирования не изменяются. В системе с PI- и PID-регуляторами, настроенными по методам [7] (рис. 3; кривые 1, 2), при $T = 10; 20$ характер переходных процессов и максимальная динамическая ошибка также не изменяются. Различие во времени регулирования и максимальной динамической ошибке наблюдается при $T = 1$ при настройке PI- и PID-регуляторов по методам [13] и PID-регулятора по методам [7].

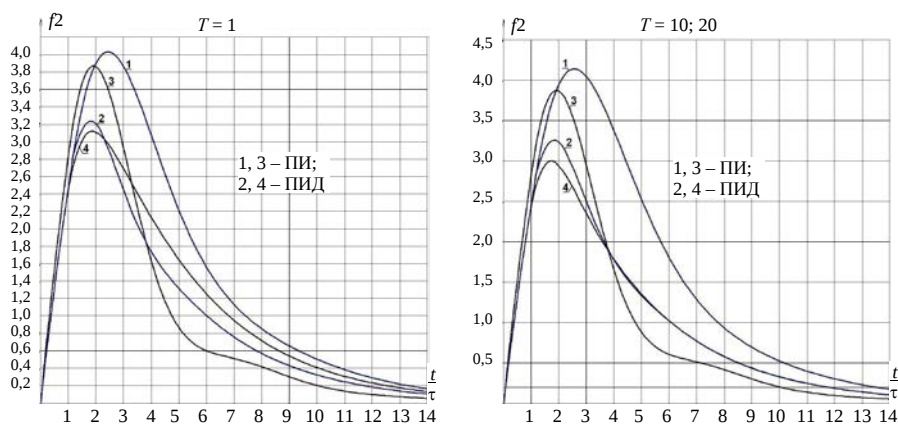


Рис. 3. Графики переходных процессов системы регулирования с PI- и PID-регуляторами при обработке внешнего возмущения: 1, 2 – PI- и PID-регуляторы, настроенные по методам [7]; 3, 4 – PI- и PID-регуляторы, настроенные по методам [13]

На рис. 4 представлены зависимости максимальной величины динамической ошибки регулирования от значения относительной постоянной времени объекта при обработке крайнего внешнего возмущения. При обработке наиболее опасного крайнего внешнего возмущения максимальная

динамическая ошибка регулирования в системе с ПИ-регулятором, настроенным по методам [7, 13], отличается на 4–7 %. Различие в максимальной динамической ошибке наблюдается при значении относительной постоянной времени объекта $T = 1; 2$. В системе с ПИД-регулятором, настроенным по методам [7, 13], зависимость максимальной динамической ошибки регулирования от величины относительной постоянной времени объекта отличается на 3–8 %.

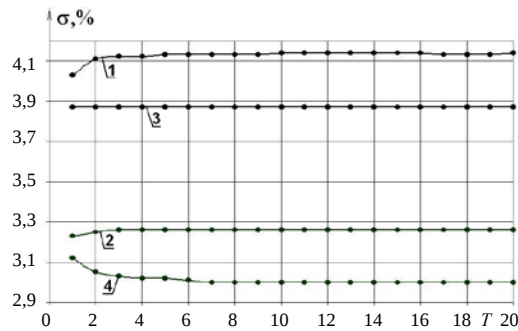


Рис. 4. Зависимость величины максимальной динамической ошибки от значения относительной постоянной времени при отработке внешних возмущений: 1, 2 – ПИ- и ПИД-регуляторы, настроенные по методам [7]; 3, 4 – ПИ- и ПИД-регуляторы, настроенные по методам [13]

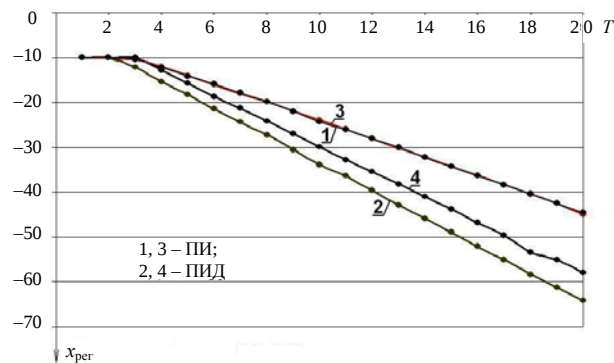


Рис. 5. Зависимость величины регулирующего воздействия от значения относительной постоянной времени объекта $T = 1-20$: 1, 2 – ПИ- и ПИД-регуляторы, настроенные по методам [7]; 3, 4 – ПИ- и ПИД-регуляторы, настроенные по методам [13]

На рис. 5 показана зависимость величины максимального регулирующего воздействия от значения относительной постоянной времени объекта регулирования. Из анализа графиков следует, что в системе с ПИ-регулятором (рис. 5; кривые 1, 3) величины максимального регулирующего воздействия совпадают. При сравнении величин регулирующего воздействия в системе с ПИД-регулятором (рис. 5; кривые 2, 4) видно, что с увеличением относительной постоянной времени объекта T регулирующее воздействие ПИД-регулятора, настроенного по методам [13], в 1,2 раза меньше регулирующего воздействия ПИД-регулятора, настроенного по методам [7].

ВЫВОДЫ

1. В САР температуры перегретого пара за котлом необходимо учитывать абсолютные значения величины запаздывания τ инерционного участка пароперегревателя, так как она существенно влияет на качество процессов регулирования при отработке основных видов возмущений. При отработке наиболее опасного крайнего внешнего возмущения в системе с ПИД-регулятором, настроенным по методам [13], максимальная динамическая ошибка регулирования меньше максимальной динамической ошибки регулирования ПИД-регулятора, настроенного по методам [7], в 1,1–1,2 раза при изменении относительной постоянной времени T в широких пределах. В системе с ПИ-регулятором, настроенным по методам [13], максимальная динамическая ошибка регулирования в 1,07 раза меньше динамической ошибки ПИ-регулятора, настроенного по методам [7].

2. Так как относительная постоянная времени объекта регулирования изменяется в диапазоне от 1 до 20, в рассмотренных случаях с ПИ- и ПИД-регулятором, настроенных по методам [7, 13], существует различие по максимальной величине регулирующего воздействия. В системе с ПИ-регулятором величины максимального регулирующего воздействия совпадают. В системе с ПИД-регулятором наибольшее значение величины максимального регулирующего воздействия будет наблюдаться при настройках ПИД-регулятора по методам [7].

3. Чем меньше величина относительной постоянной времени объекта, тем больше при отработке крайнего внешнего возмущения САР с ПИД-регулятором интегральная ошибка регулирования (площадь над осью времени и графиком оптимального переходного процесса).

Вместе с тем, с уменьшением численного значения относительной постоянной времени объекта при отработке крайнего внешнего возмущения уменьшается также относительное время появления максимальной динамической ошибки регулирования от общего относительного времени регулирования. Однако даже в самом неблагоприятном случае ($T = 1$) существует потенциальная возможность значительного улучшения качества регулирования, включая уменьшение времени регулирования до 2τ , например путем перехода от типовой САР с дифференциатором к комбинированной многоконтурной системе на основе модифицированного упредителя Смита или регуляторов нечеткой логики [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмицкий, И. Ф. Теория автоматического управления: учеб. пособие для студ. спец. «Автоматизация технологических процессов и производств» / И. Ф. Кузьмицкий, Г. Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2006. – 486 с.
2. Кулаков, Г. Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования: спр. пособие / Г. Т. Кулаков. – Минск: Вышэйш. шк., 1984. – 192 с.
3. Александрова, Н. Д. Расчет параметров динамической настройки регулятора температуры пара с опережающим скоростным сигналом / Н. Д. Александрова // Теплоэнергетика. – 1965. – № 4. – С. 24–28.
4. Ротач, В. Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования / В. Я. Ротач. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 192 с.
5. Хутский, Г. И. Система автоматического регулирования температуры перегретого пара с устройством коррекции параметров динамической настройки / Г. И. Хутский, Г. Т. Кулаков // Теплоэнергетика. – 1968. – № 3. – С. 64–67.

6. Сергиевская, Е. Н. Определение оптимальных настроек электронных регуляторов / Е. Н. Сергиевская // Теплоэнергетика. – 1957. – № 3. – С. 12–16.
7. Гурецкий, Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием; пер. с польского / Х. Гурецкий. – М.: Машиностроение, 1974. – 327 с.
8. Ротач, В. Я. Системы управления технологическими процессами с моделью состояния объекта / В. Я. Ротач, Ю. Н. Вишнякова // Теплоэнергетика. – 2005. – № 10. – С. 42–47.
9. Кулаков, Г. Т. Определение оптимальных настроек регуляторов теплоэнергетических объектов при отработке задающего воздействия / Г. Т. Кулаков, А. Т. Кулаков // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 1980. – № 4. – С. 74–80.
10. Кулаков, Г. Т. Определение оптимальных настроек регуляторов теплоэнергетических объектов с различной реакцией на управляющие и возмущающие воздействия / Г. Т. Кулаков, А. Т. Кулаков, В. В. Тимошенко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 1980. – № 10. – С. 74–80.
11. Стефани, Е. П. Основы расчетов настройки регуляторов теплоэнергетических процессов / Е. П. Стефани. – 2-е изд. перераб. – М.: Энергия, 1972. – 376 с.
12. Ротач, В. Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования / В. Я. Ротач. – М.: Энергия, 1973. – 440 с.
13. Кулаков, Г. Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования / Г. Т. Кулаков. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 135 с.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 14.04.2008

УДК 577.3

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ ТОРФА

Канд. техн. наук, доц. ЛОСЮК Ю. А., инж. ЖИБРИК С. В., КОРЧИНЕНКО С. В.

*Белорусский национальный технический университет,
ОДО «ЭНЭКА»*

Согласно Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь энергетическая безопасность является одной из наиболее важных составляющих национальной и экономической политики страны. Как известно, с целью повышения уровня энергетической независимости в Беларуси планируется увеличить долю местных видов топлив в топливно-энергетическом балансе (ТЭБ) с 16,7 % в 2003 г. до 25 % в 2020 г. [1].

В конце 2007 г. разработана государственная программа «Торф» на 2008–2010 гг. и на период до 2020 г. Она предусматривает увеличение объемов добычи и использования торфяного топлива в Беларуси до 1,15 млн т у. т. к 2010 г.

В настоящее время запасы торфа оцениваются в 4 млрд т. Для промышленной заготовки выделено 14 тыс. га площади торфяников с суммарным запасом в 26,3 млн т, из которых 21,5 млн т пригодны для производства торфяного топлива [2]. Такое внимание к торфу неслучайно. Его запасы позволяют в значительной мере сократить потребности Республики Беларусь в импортируемых энергоносителях. На сегодняшний день торф уже явля-