

СИНТЕЗ ТРЕХИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛЯТОРА САР УРОВНЯ ВОДЫ В БАРАБАНЕ ПАРОВОГО КОТЛА

Фам Ван Дай, Чан Тхюи Зунг
Томский политехнический университет, г. Томск
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30
Email: phamvandaibk@gmail.com

Котельным агрегатом называется комплекс, предназначенный для производства пара (в большинстве случаев водяного) заданного количества и качества. Для его правильной эксплуатации нужно регулировать многие параметры сложных процессов, например давление и температура перегретого пара, уровень воды в барабане котла, топливосжигание... и т.д. В том числе уровень воды в барабане является важным параметром, обеспечивающим производительность и безопасность целого агрегата, поэтому поддержание уровня воды в барабане в допустимых пределах весьма важно [1].

На уровень воды в барабане котла влияют многие факторы, основными из них являются изменения расходов питательной воды и пара, изменения нагрузки топки, давление в барабане. При проектировании систем автоматического регулирования (САР) уровня в барабане котла, следует учитывать влияния вышесказанных факторов. На практике для котла большой производительности широко применяется трехимпульсный принцип регулирования. Этот принцип, кроме регулируемой величины – уровня воды, учитывает еще расход питательной воды и расход пара, которые являются измеряемыми. Он позволяет поддержать уровень воды в допустимых пределах, и эффективно уменьшает колебания уровня из-за изменений расходов воды и пара. Существуют два варианта реализации трехимпульсной системы автоматического регулирования (САР) уровня – каскадная САР и САР с трехимпульсным регулятором. В данной работе рассматривается синтез САР с трехимпульсным регулятором. Структурная схема каскадной трехимпульсной САР приведена на рисунке 1.

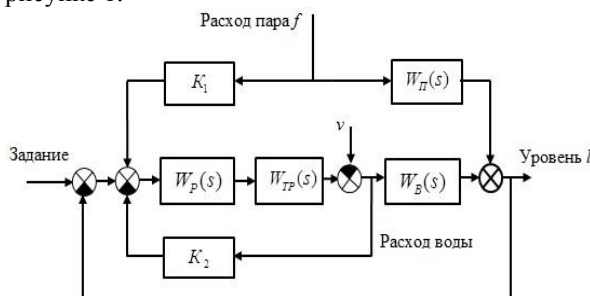


Рис. 1. Схема САР с трехимпульсным регулятором

На рисунке 2 представлен характер изменения уровня в барабане котла при скачкообразном увеличении расхода питательной воды. Особенностью динамики уровня в барабане является явление «набухание». При скачкообразном увеличе-

нии подачи питательной воды при неизменной паровой нагрузке, уровень сначала уменьшился, потом восстановился и увеличился. Это явление объясняется тем, что увеличение подачи питательной воды вызывает понижение температуры всей пароводяной смеси и соответственное уменьшение объема пара в барабане котла и циркуляционной системе. При скачкообразном увеличении расхода пара при неизменной подаче питательной воды, уровень сначала увеличился, потом восстановился и уменьшился[1].

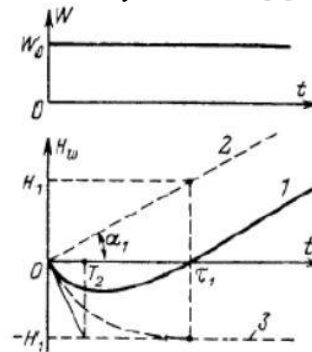


Рис.2. Характер изменения уровня в барабане котла при возмущении расходом питательной воды

Модель парового котла как объекта регулирования имеет следующую передаточную функцию (ПФ) с входом – расходом питательной воды и выходом – уровнем воды в барабане:

$$W_B(s) = \frac{1}{T_1 s} - \frac{K}{T_2 s + 1}$$

В процессе синтеза САР примем, что передаточные функции объекта регулирования по расходам воды и пара противоположны по знаку, а равны по величине, т.е. $W_{\text{П}}(s) = -W_B(s)$

По экспериментальным данным получена ПФ объекта регулирования по каналу расхода воды:

$$W_B(s) = \frac{1}{60s} - \frac{2}{22.4s + 1}$$

В схеме использованы следующие обозначения: $W_B(s), W_{\text{П}}(s)$ – ПФ объекта регулирования по каналам расхода воды и расхода пара, $W_{\text{ТП}}(s)$ – ПФ трубопровода, $W_p(s)$ – ПФ регуляторов, $W_k(s)$ – ПФ корректирующего устройства.

По каналу управляющего воздействия имеются два контура регулирования. Первый контур состоит из регулятора $W_p(s)$, трубопровода $W_{\text{ТП}}(s)$, датчика расхода воды и усилительного звена K_2 . Этот контур предназначен для стабилизации расхода

питательной воды при возмущении v , характеризующем изменение давления в трубопроводе. Эквивалентная передаточная функция первого контура имеет следующий вид:

$$W_{P^*}(s) = \frac{W_p(s) \cdot W_{TP}(s)}{1 + K_2 \cdot W_p(s) \cdot W_{TP}(s)}$$

Второй контур содержит $W_{P^*}(s)$, объект регулирования $W_B(s)$ и датчик уровня. Т.к. инерционность элементов в первом контуре незначительна по сравнению с инерционностью объекта регулирования, то переходные процессы в первом контуре завершатся раньше, чем во втором контуре.

Первый контур стабилизирует расход воды, то применяются ПИ или ПИД регуляторы. После завершения переходного процесса в первом контуре, его передаточную функцию можно рассматривать как передаточную функцию некоторого условного регулятора для второго контура. Имеется:

$$W_{P^*}(s) = \frac{W_p(s) \cdot W_{TP}(s)}{1 + K_2 \cdot W_p(s) \cdot W_{TP}(s)} = \frac{1}{\frac{1}{W_p(s) \cdot W_{TP}(s)} + K_2} \approx \frac{1}{K_2}$$

т.к. $K_2 \ll \frac{1}{W_p(s) \cdot W_{TP}(s)}$

Обозначаем $W_{P^*}(s) \approx \frac{1}{K_2} = K_{P^*}$. Таким образом,

при охвате ПИ либо ПИД регулятора глубокой обратной связью в виде усилительного звена, это соединение можно рассматривать как некоторый приведенный П-регулятор.

Расчет внешнего контура заключается в выборе параметра этого условного П-регулятора. Используем метод Циглера-Никольца для внешнего контура САР [2], получаем

$$K_{P^*} = 0,307 = \frac{1}{K_2} \Rightarrow K_2 = \frac{1}{0,307} \approx 3,257$$

Для первого контура имеется:

$$W_{TP}(s) = \frac{1}{s+1}; K_2 = 3,2573$$

Используем ПИ регулятор с параметров настройки $K_{II} = 0,1; T_{II} = 4 \text{ сек}$.

Проведем расчет коэффициента K_I корректирующего устройства по каналу расходу воды. Передаточная функция системы по каналу расхода пара имеет вид:

$$W_{fj}(s) = \left(K_1 + W_{II}(s) \cdot \frac{1}{W_{P^*}(s)} \cdot \frac{1}{W_B(s)} \right) \cdot W_{lg}(s)$$

Где $W_{lg}(s) = \frac{W_p(s) \cdot W_B(s)}{1 + W_{P^*}(s) \cdot W_B(s)}$ – передаточная

функция системы по задающему воздействию. Принимая $W_{II}(s) \approx -W_B(s)$ и $W_{P^*}(s) = K_{P^*}$, получаем:

$$W_{fj}(s) \approx \left(K_1 - \frac{1}{K_{P^*}} \right) \cdot W_{lg}(s)$$

Для обеспечения условия инвариантности [3], то $W_{fj}(s) = 0$, т.е. $K_1 = \frac{1}{K_{P^*}} = K_2 = 3,257$.

Моделирование САР проводилось в среде Simulink. Схема САР представлена на рис. 3. Результаты приведены в таблицы 1 и 2.

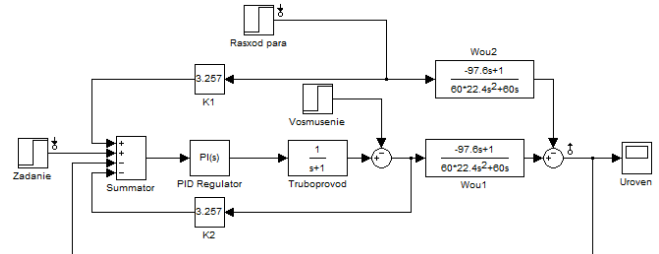


Рис. 3. Схема САР в среде Simulink

Таблица 1: Показатели качества переходного процесса САР

t_{pez} (сек)	σ (%)	ϵ_{cm}
438	5.09	0

Таблица 2: Изменения уровня при ступенчатом увеличении расхода пара на 1 тон/час, и при ступенчатом уменьшении расхода воды из-за изменения давления в трубопроводе на 1 тон/час

Вид возмущений	Максимальное отклонение уровня (мм)	ϵ_{cm} (мм)
Увеличение расхода пара на 1 тон/час	0.065	0
Уменьшение расхода воды на 1 тон/час	0.07	0

Результаты моделирования показали, что САР с синтезированным трехимпульсным регулятором обеспечивает необходимое качество регулирования. САР обеспечивает быстродействие переходного процесса и точность регулирования, кроме этого она эффективно устраняет влияния изменений расхода питательной воды и расхода пара, которые часто происходят в процессе работы котельного агрегата.

Список литературы:

1. Ключев А.С., Товарнов А.Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов, М., «Энергия», 1970.
2. Токарев В.В., Ягубов З.Х., Приезжаев А.Б., Скабыкин Н.Г. Расчет оптимальных параметров промышленных автоматических систем регулирования. Учебное пособие – Ухта: УГТУ, 2003.
3. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплотехническими процессами. – М.: «Энергоавтомиздат», 1985.