

АНАЛИЗ КАСКАДНЫХ СХЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ

Масленникова С.В.(zoluwka93@mail.ru)

Научный руководитель - Жукова Н.В.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

Общая постановка проблемы.

Трубчатая печь является сложным многомерным и многосвязным объектом автоматизации. Целью регулирования трубчатой печи является поддержание температуры продукта на выходе при наличии большого количества возмущающих воздействий, многие из которых не контролируемые. Кроме того трубчатая печь является инерционным объектом с запаздыванием по основным каналам регулирования [1-3]. Поэтому задача выбора информационного параметра по управлению, быстро реагирующего на изменение режима работы печи, и разработка системы автоматического регулирования, которая бы компенсировала основные возмущения, является актуальной.

Исследование способов построения САУ температурой на выходе трубчатой печи проводится на примере нагрева нефтяной эмульсии, которая протекает по змеевику трубчатой печи и нагревается за счет тепла, образующегося при сжигании топливного газа и воздуха. Из большого количества факторов влияющих на температуру выхода нефтяной эмульсии можно выделить подачу топливного газа и нефтяной эмульсии. Подача нефтяной эмульсии, а так же ее температура являются основными источниками возмущений, а подача топливного газа и воздуха – управляющими воздействиями. Температуру воздуха и топливного газа можно считать постоянными [3].

Поскольку трубчатые печи обладают запаздыванием по передаче тепла от дымовых газов через стенку змеевика к проходящему по змеевику продукту и, кроме того, переходной процесс по каналу «расход топлива - температура эмульсии на выходе» продолжается несколько часов, то применение одноконтурной САУ приводит к динамической ошибке, а время регулирования достигает больших значений. Целью данной публикации является разработка способа управления трубчатой печью, позволяющего улучшить качество регулирования, посредством анализа каскадных схем регулирования температуры нефтяной эмульсии на выходе с учетом ограничений на ее производительность.

Методика решения задачи.

Повысить качество регулирования можно за счет:

- 1) выбора в качестве информационного параметра по управлению температуры газов над перевальной стенкой, которая достаточно быстро реагирует на изменение режима работы печи, обусловленное изменением количества топливного газа, подаваемого на сжигание;
- 2) учета возможности резкого изменения перегрузки печи по расходу нагреваемого продукта и наличие возмущения по расходу топлива;
- 3) учета изменения давления топливного газа.

Учет перечисленных факторов существенно улучшает качество регулирования температуры эмульсии на выходе из печи и может быть реализован посредством каскадной схемы регулирования, представленной на рис. 1. Регулятор температуры над перевальной стенкой компенсирует возмущения, влияющие на процесс сгорания топлива прежде, чем они приведут к изменению температуры продукта. При принудительной подаче первичного воздуха оптимальный его расход, при котором температура в топке принимает максимальное значение поддерживают посредством регулятора соотношения топливный газ - воздух, обеспечивающего заданное значение коэффициента избытка воздуха, определяющего интенсивность процесса сгорания. Это обеспечивает полное сгорание топлива и высокое качество регулирования.

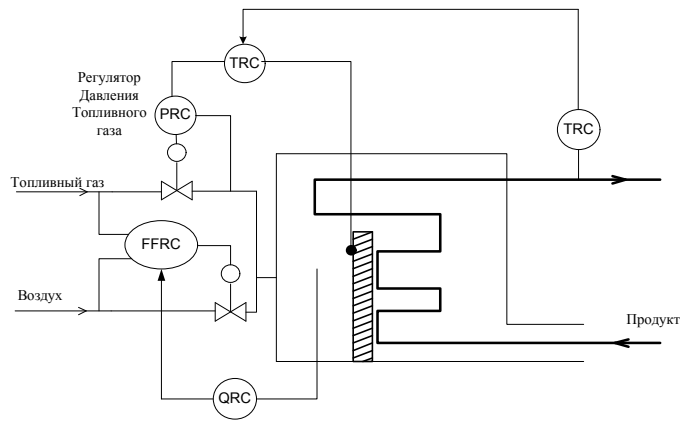


Рисунок 1 - Каскадная схема регулирования температуры продукта на выходе с регулятором соотношения «топливный газ - воздух» и коррекцией по содержанию кислорода в топочных газах

Анализируя [2-3] для каскадной схемы регулирования температуры продукта на выходе с регулятором соотношения «топливный газ - воздух» и коррекцией по содержанию кислорода в топочных газах, была получена математическая модель следующего вида:

$$C \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\delta T(x,t)}{\delta t} = -C \cdot V \cdot \frac{\delta T(x,t)}{\delta t} + k_T \cdot \pi \cdot d \cdot [T(t) - T_n(x,t)], \quad (1.1)$$

где $V = \frac{U}{T}$ – объемная скорость поступления сырья в выделенный объем и выхода из него;

C - теплоемкость сырья;

$k_T \cdot \pi \cdot d \cdot [T(t) - T_n(x,t)]$ – количество тепла, передаваемого в выделенный объем в процессе теплообмена;

$\frac{\pi \cdot d^2}{4}$ – элементарный объем;

$\frac{\delta T(x,t)}{\delta t}$ - изменение температуры сырья по длине змеевика.

Сделаем замену, используя начальные условия:

$$\begin{aligned} T(t=0) &= T^* \\ T_n(x,0) &= T_n^*(x) \end{aligned} \quad (1.2)$$

Выведем передаточную функцию объекта. Для этого примем изменения температуры сырья по длине змеевика постоянной $\frac{\delta T(x,t)}{\delta t} = 0$. Исходя из этого условия уравнения (1.1) примет следующий вид:

$$C \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{dT(t)}{dt} + k_T \cdot \pi \cdot d \cdot T_n(t) = k_T \cdot \pi \cdot d \cdot T(t) \quad (1.3)$$

Введем безразмерно нормированные функции:

$$\begin{aligned} x_{\text{вых}} &= \frac{T_n(t) - T_n^*}{T_n^*} \\ x_{\text{вх}} &= \frac{T(t) - T^*}{T^*} \end{aligned} \quad (1.4)$$

Учитывая предыдущие условия уравнение (1.3) примет вид:

$$C \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot T_n^* \frac{d}{dt} x_{\text{вbx}} + k_T \cdot \pi \cdot d \cdot T_n^* \cdot x_{\text{вbx}} = k_T \cdot \pi \cdot d \cdot T^* \cdot x_{\text{ex}} \quad (1.5)$$

Разделим выражение (1.5) на $k_T \cdot \pi \cdot d \cdot T_n^*$, получим:

$$\frac{C \cdot d}{4 \cdot k_T} \cdot \frac{d}{dt} x_{\text{вbx}} + x_{\text{вbx}} = \frac{T^*}{T_n^*} \cdot x_{\text{ex}} \quad (1.6)$$

Ведem обозначения:

$\frac{C \cdot d}{4 \cdot k_T} = T$ – постоянная времени, размерность секунды;

$\frac{T^*}{T_n^*} = k$ – безразмерный коэффициент.

Применив преобразование Лапласа к (1.6) получим:

$$W(p) = \frac{k}{T \cdot p + 1} \quad (1.7)$$

Трубчатая печь, будучи крупногабаритным аппаратом, как объект регулирования, по каналам «расход топливного газа - температура над перевальной стенкой» и «температура над перевальной стенкой - температура на выходе печи» обладает значительной инерционностью. Поэтому, передаточная функция (1.7) имеет запаздывание:

$$W(p) = \frac{k}{T \cdot p + 1} \cdot e^{-\tau \cdot p} \quad (1.8)$$

Комбинированная САУ температуры нефтяной эмульсии состоит из трех контуров (рис.1). Первый внутренний контур - это контур стабилизации соотношения расходов «топливный газ - воздух». Он регулирует расход топливного газа $F_{\text{тг}}$ в определенном соотношении с расходом воздуха $F_{\text{пов}}$ (так называемый регулятор соотношения потоков), $F_{\text{тг}} = k \cdot F_{\text{пов}}$. Второй внутренний контур стабилизирует температуру над перевальной стенкой T_1 путем изменения расхода топливного газа $F_{\text{тг}}$ и меняет задание регулятору соотношения в зависимости от температуры над перевальной стенкой T_1 . Внешний контур - это контур, стабилизирует температуру на выходе трубчатой печи T путем изменения температуры над перевальной стенкой T_1 .

Передаточная функция по каналу «расход топливного газа – температура над перевальной стенкой» имеет следующие значения коэффициента усиления и постоянных времени: $k=550/0.4=1375$, $T=400\text{с}$, $\tau=20\text{с}$. Коэффициент обратной связи $k=16 \text{ мА}/550 \text{ }^\circ\text{С}=0.029$.

Передаточная функция по каналу «температура над перевальной стенкой – температура на выходе печи» имеет следующие значения коэффициента усиления и постоянных времени: $k=70/550=0.128$, $T=80\text{с}$, $\tau=50\text{с}$.

По технологии требования к показателям САУ температуры на выходе печи следующие:

- апериодический характер переходного процесса с допустимым перерегулированием 0..15%;
- время установления (регулирования) не более $3e4 \text{ с}$;
- температура должна быть в диапазоне от -5^0 С до 90^0 С .

Схема САУ в среде имитационного моделирования Simulink пакета прикладных программ Matlab приведена на рис.2,3. Переходная характеристика температуры продукта на выходе из методичной печи представлена на рис. 4.

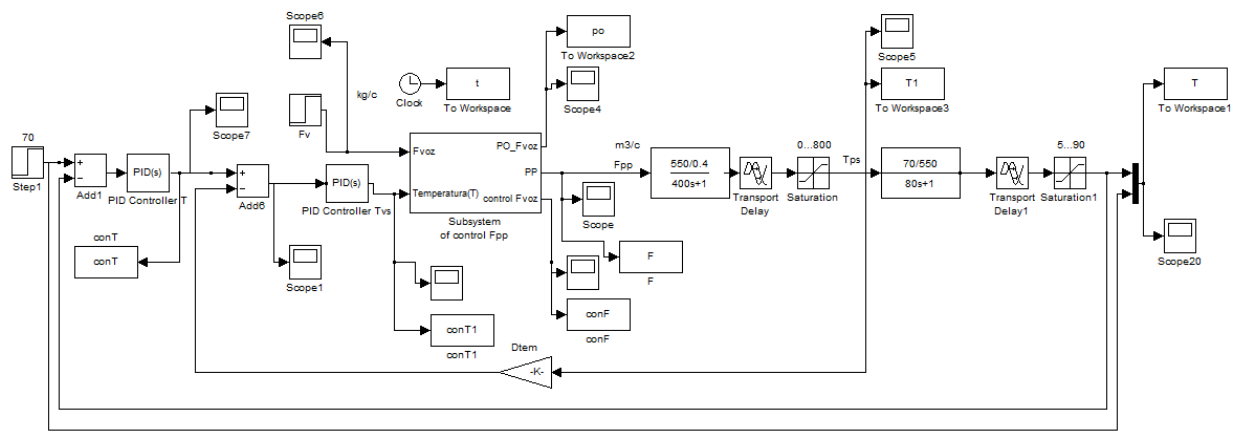


Рисунок 2 - Каскадная схема регулирования температуры продукта на выходе с регулятором соотношения «топливный газ - воздух» и коррекцией по содержанию кислорода в топочных газах в графической среде имитационного моделирования Simulink пакета прикладных программ Matlab.

Содержание блока Subsystem of control Fpp, представлено на рис.3.

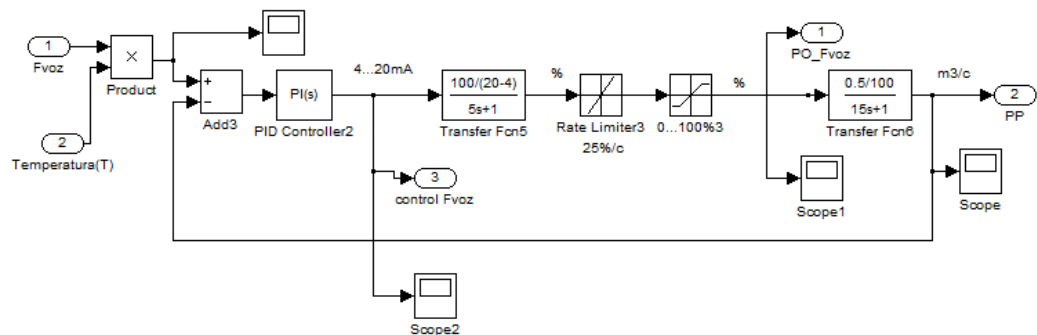


Рисунок 3 - Блок Subsystem of control Fpp

В качестве метода настройки параметров регуляторов выбран метод автоматической настройки блока PID - control пакета моделирования Matlab. Результаты автоматической настройки обеспечили заданные требования качества переходного процесса (рис.4): аperiodический характер переходного процесса с перерегуливанием 7%; время регулирования $t_r = 2.5e4$ с; диапазон изменения температуры удовлетворяет технологической карте процесса нагрева нефтяной эмульсии: от 5°C и не более 90°C .

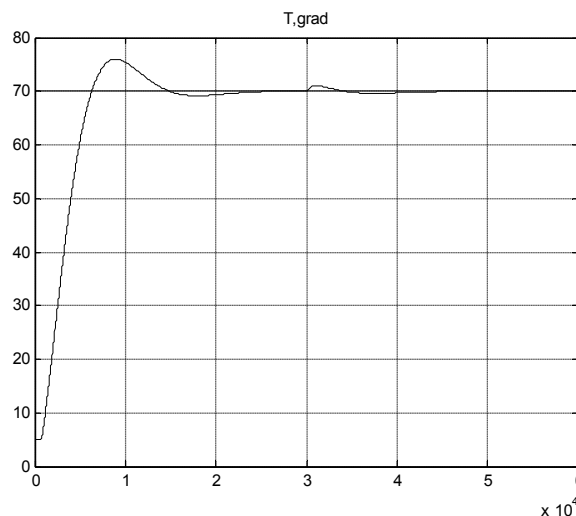


Рисунок 4 - График переходной характеристики температуры на выходе трубчатой печи

При регулировании соотношения «топливный газ - воздух» необходимо обеспечить меры безопасности, так как при недостатке воздуха в топке может образоваться взрывоопасная смесь. В связи с этим следует предусмотреть ограничение расхода топлива так, чтобы этот расход никогда не превышал максимально допустимого значения, соответствующего текущему значению расхода воздуха. При уменьшении расхода воздуха относительно определенного значения нужно обязательно автоматически уменьшать подачу топлива в топку. Решение данной задачи может быть найдено из зависимости температуры в топке от соотношения «топливный газ - воздух», которое носит экстремальный характер. На рис. 5 экстремальный регулятор отыскивает максимальные значения температуры дымовых газов над перевальной стенкой, воздействуя на регулятор соотношения «топливный газ - воздух», управляющей подачей первичного воздуха.

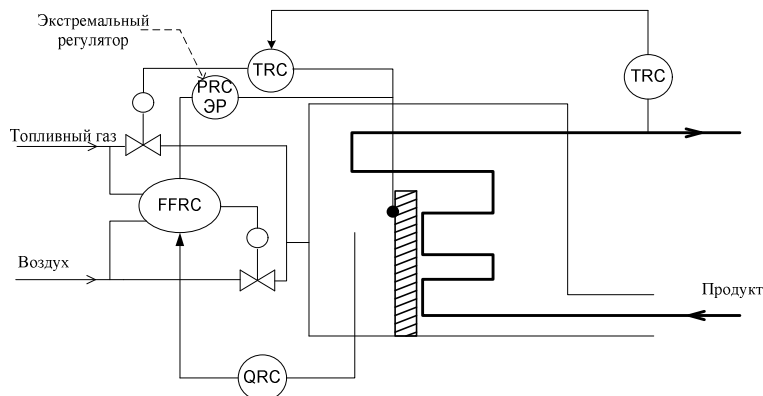


Рисунок 5 - Схема регулирования температуры продукта в печи с экстремальным регулятором, корректирующим соотношение «топливный газ - воздух»

Разработка алгоритма и реализация экстремального регулятора, а также исследование динамики системы, позволят автору сделать вывод о работоспособности предложенного способа управления, качестве регулирования и будут приведены в следующей публикации.

Выводы.

1. Проведен анализ каскадных схем регулирования температуры нефтяной эмульсии.
2. Получена математическая модель объекта по каналу управления «расход топливного газа – температура над перевальной стенкой», «температура над перевальной стенкой – температура на выходе печи». Выполнена настройка параметров регулятора соотношения «топливный газ - воздух».
3. Доказана работоспособность разработанной САУ трубчатой печи методами математического моделирования в среде Matlab - Simulink. Анализ динамики САУ трубчатой печи показал, что система соответствует предъявляемым к ней требованиям и улучшает качество регулирования с учетом ограничений на производительность печи.

Библиографический список:

1. Е. Г. Дудникова Автоматическое управление в химической промышленности: учебник для вузов - М.: Химия, 1987.
2. В. А. Голубятников, В. В. Шувалов Автоматизация технологических процессов в химической промышленности. Москва.: Химия. 1985.
3. Исакович Р.Я., Логинов В.И., Попадько В.Е. Автоматизация производственных процессов нефтяной и газовой промышленности. - М: Недра, 1983.