

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ВЫХОДЕ ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ

Масленникова С.В., студент; Жукова Н.В., доц., к.т.н.
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 предотвратить образование взрывоопасной смеси, а так же 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 поддерживаются 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.

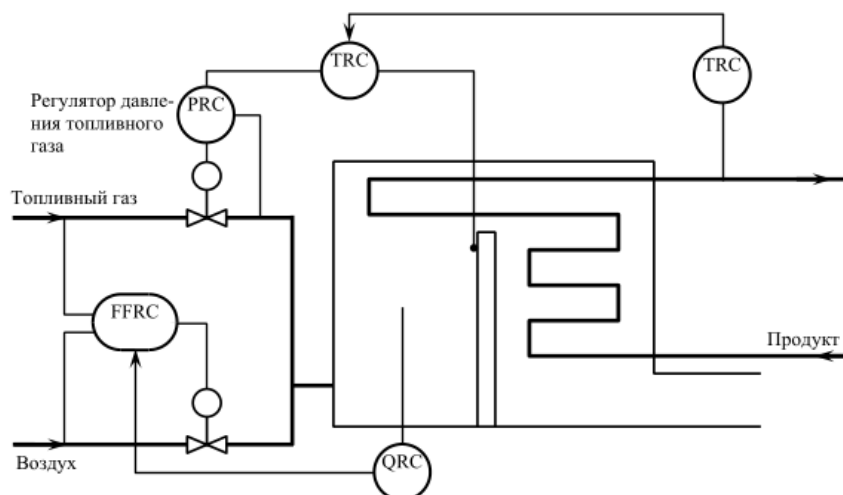


Рисунок 1 - Каскадная схема регулирования температуры продукта на выходе с регулятором соотношения «топливный газ - воздух» и коррекцией по содержанию кислорода в топочных газах

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. 2 экстремальный регулятор отыскивает максимальные значения температуры дымовых газов над перевальной стенкой, воздействуя на регулятор соотношения «топливный газ - воздух», управляющей подачей первичного воздуха.

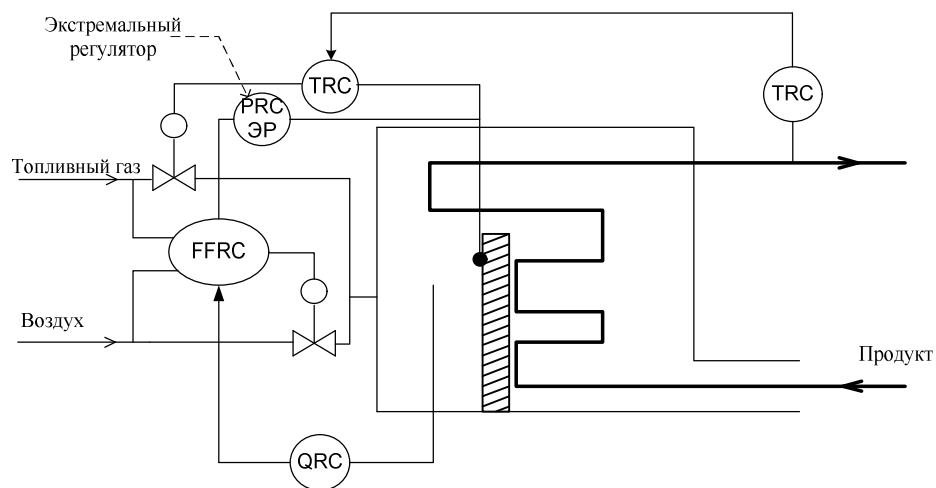


Рисунок 2 - Схема регулирования температуры продукта в печи с экстремальным регулятором, корректирующим соотношение «топливный газ - воздух»

Выполнив анализ особенностей каскадных схем регулирования (рис.1, 2), в данной публикации автором предложена трехконтурная каскадная схема автоматического регулирования, которая позволяет без наличия экстремального регулятора предотвратить аварийную ситуацию по образованию взрывоопасной смеси.

Схема данной системы представлена в виде схемы моделирования на рис. 3. Комбинированная САУ температуры нефтяной эмульсии состоит из трех контуров. Первый внутренний контур - это контур стабилизации соотношения расходов «топливный газ - воздух». Он регулирует расход топливного газа F_{tg} в определенном соотношении с расходом воздуха F_{ipov} (так называемый регулятор соотношения потоков), так что ограничение на расход топливного газа определяет температура над перевальной стенкой T_1 : $F_{tg} = \gamma(T_1) \cdot F_{ipov}$. Второй внутренний контур стабилизирует температуру над перевальной стенкой T_1 путем изменения расхода топливного газа F_{tg} и меняет задание регулятору соотношения в зависимости от температуры над перевальной стенкой T_1 . Внешний контур - это контур стабилизации температуры на выходе трубчатой печи T путем изменения температуры над перевальной стенкой T_1 .

Как правило, передаточные функции по каналу «расход топливного газа – температура над перевальной стенкой», а также по каналу «температура над перевальной стенкой – температура на выходе печи» являются однотипными и могут быть описаны инерционными динамическими звеньями первого порядка с запаздыванием: $W(p) = \frac{k}{T \cdot p + 1} \cdot e^{-\tau \cdot p}$.

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

- аperiodический характер переходного процесса с допустимым перерегулированием 0..15%;
- время установления (регулирования) не более 3e4 с;
- температура должна быть в диапазоне от -5^0C до 90^0C .

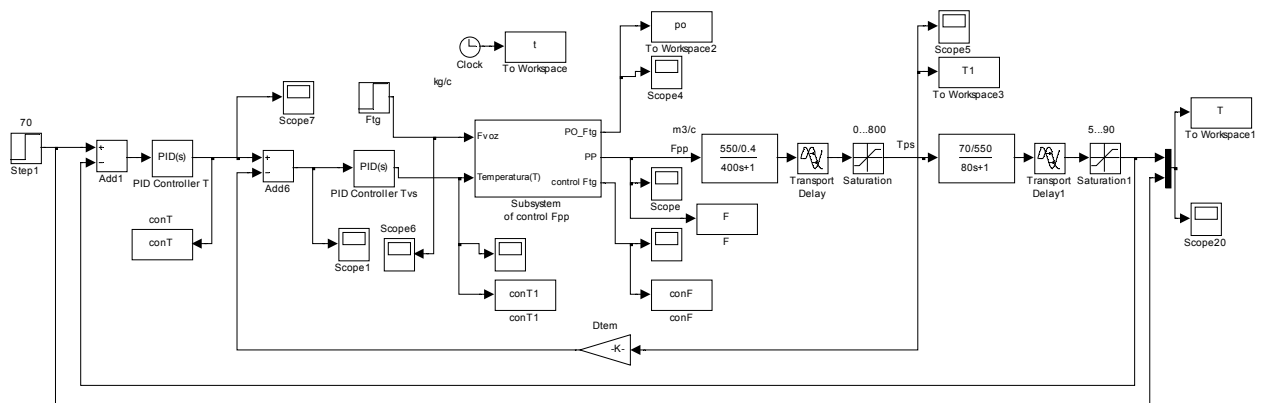


Рисунок 3 - Схема моделирования трехконтурной САУ температуры на выходе из трубчатой печи

Содержание блока Subsystem of control Fpp, выполняющего функции регулятора соотношения представлено на рис.4.

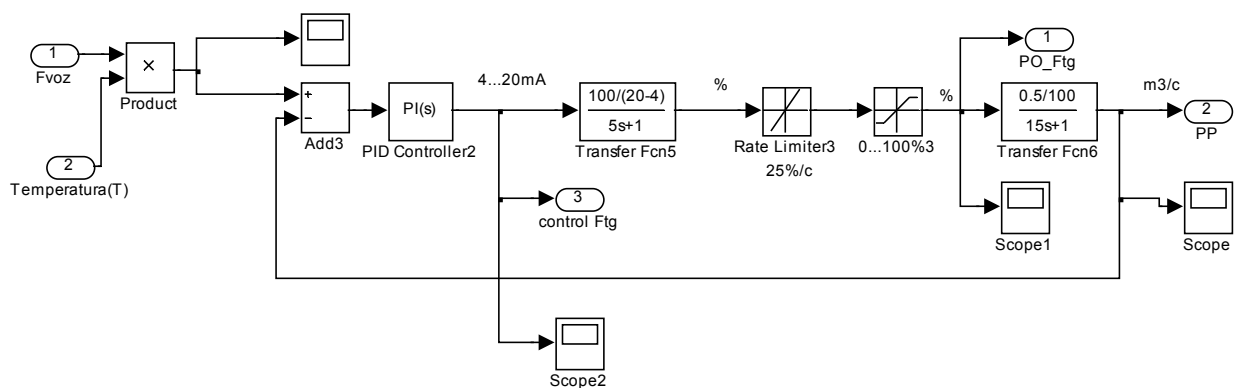


Рисунок 4 - Блок Subsystem of control Fpp

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 температуры нефтяной эмульсии (рис.5): апериодический характер переходного процесса с перерегулированием 7%; время регулирования $t_p = 2.5 \times 10^4$ с; диапазон изменения температуры удовлетворяет технологической карте процесса нагрева нефтяной эмульсии: от 5°C и не более 90°C .

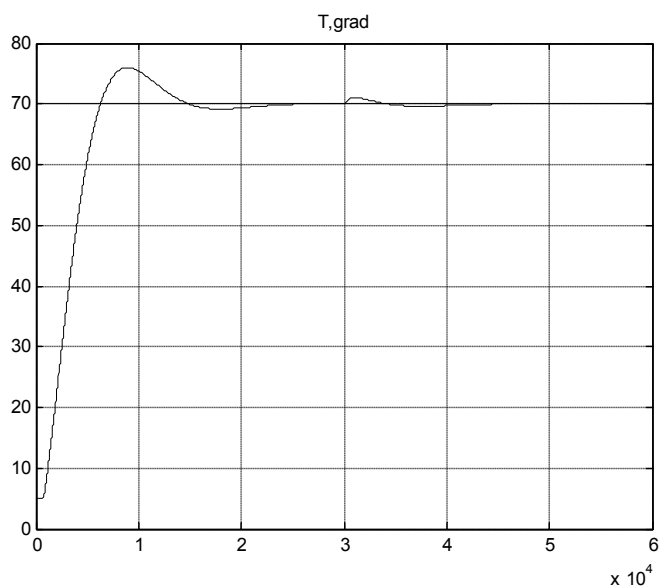


Рисунок 5 - График переходной характеристики температуры нефтяной эмульсии на выходе трубчатой печи

При использовании выше приведенной схемы аварийная ситуация по образованию взрывоопасной смеси исключается, так как при уменьшении расхода воздуха регулятор соотношения автоматически пересчитывает коэффициент соотношения потоков топливный газ – воздух и уменьшает подачу топлива в топку. На рис. 6 приведена переходная характеристика выхода регулятора соотношений при уменьшении расхода воздуха с $5 \text{ м}^3/\text{с}$ до $3 \text{ м}^3/\text{с}$.

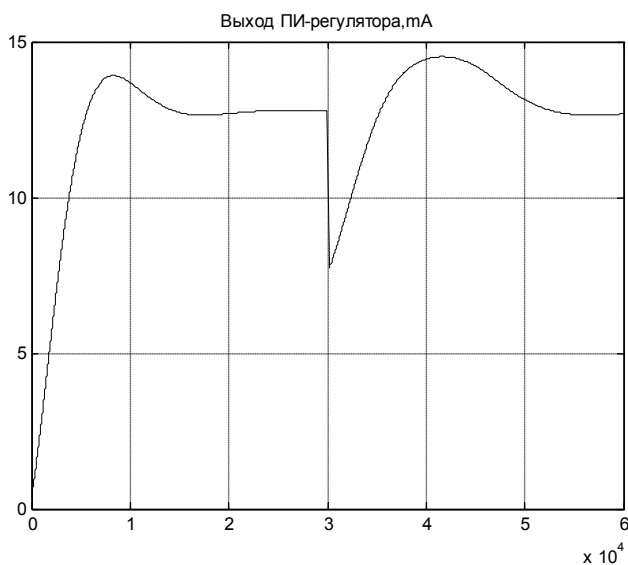


Рисунок 6 – Выход регулятора соотношения «топливный газ - воздух» при уменьшении расхода воздуха

Переходные характеристики выхода регулятора расхода топливного газа (рис.7а), а также регулирующего органа (рис.7б) подтверждают работоспособность предложенной трехконтурной САР температуры нефтяной эмульсии в условиях заданных технических и технологических ограничений.

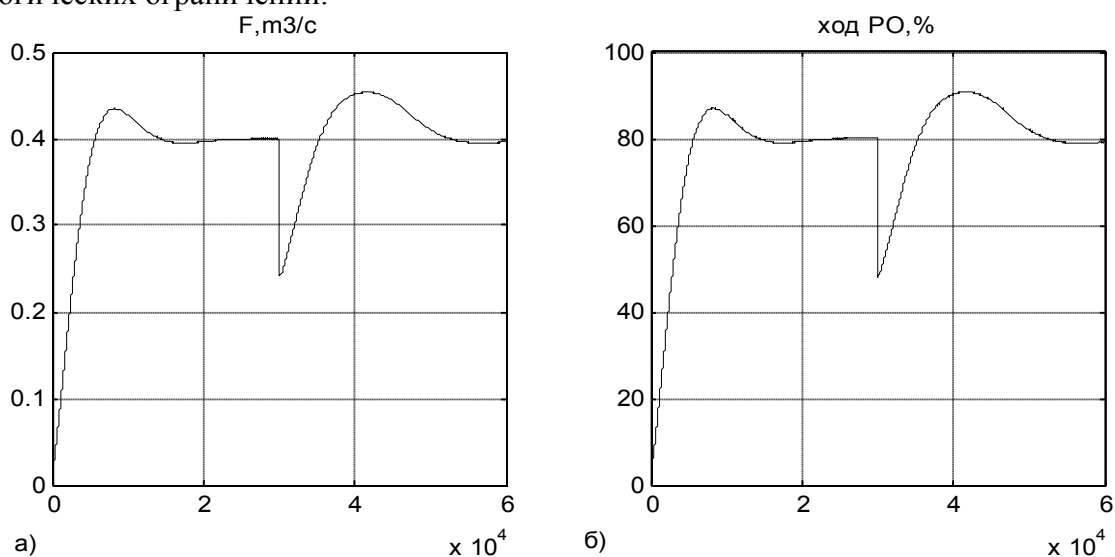


Рисунок 7 – Переходные характеристики: а) выхода регулятора расхода топливного газа; б) регулирующего органа при уменьшении расхода воздуха

Выводы.

1. Проведен анализ существующих каскадных схем автоматического регулирования температуры нефтяной эмульсии на выходе трубчатой печи на предмет учета возможных аварийных ситуаций по образованию взрывоопасных смесей из-за недостатка воздуха в топке. В существующих САР данная задача решена за счет введения экстремального регулятора, который отыскивает максимальные значения температуры дымовых газов над перевальной стенкой и воздействует на регулятор соотношения «топливный газ - воздух», управляющий подачей первичного воздуха.

2. Предложена трехконтурная система автоматического регулирования температуры нефтяной эмульсии. Внутренний контур - контур расхода топливного газа F_{tg} . Ограничение на расход топливного газа определяет регулятор температуры над перевальной стенкой T_1 : $F_{tg} = \gamma(T_1) \cdot F_{ipov}$. Внешний контур - это контур стабилизации температуры на выходе трубчатой печи T . При использовании выше приведенной схемы аварийная ситуация по образованию взрывоопасной смеси исключается, так как при уменьшении расхода воздуха регулятор соотношения автоматически пересчитывает коэффициент соотношения потоков топливный газ – воздух и уменьшает подачу топлива в топку.

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.

Перечень ссылок:

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.