

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОТИВОТОЧНЫМ ТЕПЛООБМЕННЫМ АППАРАТОМ

Зайцев В.А., slav1991@mail.ru

Научный руководитель – Чернышев Н.Н.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

Актуальность.

Теплообменные аппараты являются неотъемлемой частью большинства технологических процессов, поэтому задача автоматизации противоточных теплообменных аппаратов является весьма важной вследствие существенной энергоемкости теплообменников и их широкой распространенности в промышленной практике.

Процессы передачи тепла с помощью теплообменников от одной жидкой среды к другой находят очень широкое применение в промышленной и коммунальной сфере, бытовом секторе. Часто мы просто пользуемся результатом теплообмена, не придавая этому никакого значения, не видя самого процесса.

Кожухотрубные теплообменники относятся к наиболее распространенным аппаратам. Их применяют для теплообмена и термохимических процессов между различными жидкостями, парами и газами – как без изменения, так и с изменением их агрегатного состояния.

Цель.

Повышение качества процесса управления системой автоматического управления теплообменным аппаратом за счет обзора известных решений управления теплообменниками, а также его анализа как объекта управления.

Постановка задачи.

Провести анализ существующих систем автоматического управления противоточным теплообменным аппаратом на примере кожухотрубного теплообменника.

Теплообменный аппарат как объект управления.

С учетом реальных условий работы, все существенные факторы, влияющие на процесс теплообмена, разбиваются на следующие группы [2]:

1. Контролируемые возмущения – это те возмущения, которые можно измерить, но невозможно или недопустимо стабилизировать (расход питания, подаваемого непосредственно из предыдущего аппарата; температура окружающей среды и т.п.). Для исследуемого процесса такими возмущениями являются: температура теплоносителя $T_{гор}^{вх}$, а также температура и расход нагреваемого потока $T_{хол}^{вх}$, $G_{хол}$ на входе в аппарат.

2. Неконтролируемые возмущения – возмущения, которые невозможно или нецелесообразно измерять непосредственно. Первые – это падение активности катализатора изменение коэффициентов тепло- и массопередачи и т.п. В качестве неконтролируемых возмущений в данном объекте может выступать накипь, образовавшаяся на поверхности трубок внутри теплообменника, а также давление пара, участвующего в теплообмене.

3. Выходные переменные. Из их числа выбирают регулируемые координаты. При построении замкнутых систем регулирования в качестве регулируемых координат выбирают технологические параметры, изменение которых свидетельствует о нарушении материального или теплового баланса в аппарате. К ним относятся: температуры теплоносителей $T_{гор}^{вых}$ и $T_{хол}^{вых}$.

4. Управляющие переменные – входные сигналы объекта управления, с помощью которых можно влиять на режим работы объекта: величина расхода теплоносителя $G_{гор}$.

На рисунке 1 показана структурная схема поверхностного теплообменника.

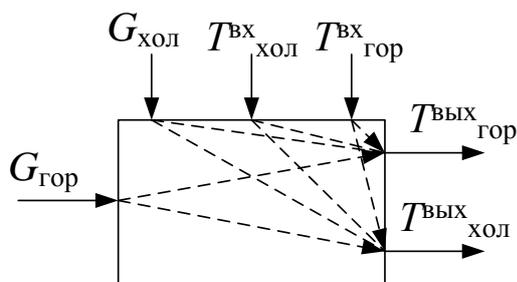


Рисунок 1 – Схема взаимосвязей между переменными в теплообменном аппарате

Система автоматического управления теплообменником.

Особенностью теплообменников с изменяющимся агрегатным состоянием веществ, как объектов регулирования, состоит в том, что при постоянном давлении и отсутствии переохлаждения образующегося конденсата, температура жидкой и паровой фаз одинакова и по ней нельзя судить об интенсивности процесса испарения или конденсации. В этом случае основным показателем процесса теплообмена является уровень жидкой фазы [1].

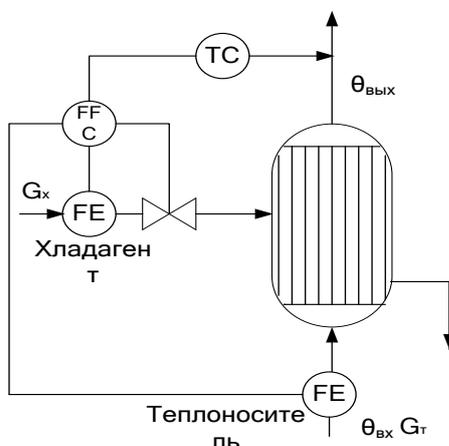


Рисунок 2 - Каскадная АСР температуры жидкости в паро-жидкостном теплообменнике (с регулятором соотношения расходов во внутреннем контуре)

Введение динамической компенсации возмущений по $G_{ж}$ или $\theta_{вх}$ оказывается нецелесообразным, так как теоретические компенсаторы физически нереализуемы, а использование приближенных компенсаторов может оказаться неэффективным. Поэтому на практике ограничиваются статической компенсацией этих возмущений. Примером таких систем является каскадная АСР соотношения расходов $G_{п}/G_{ж}$ с коррекцией по $\theta_{вх}$.

Регулирование поверхностных противоточных теплообменников заключается в поддержании постоянства температуры одного из теплоносителей на выходе из теплообменника, например, T_{x2} .

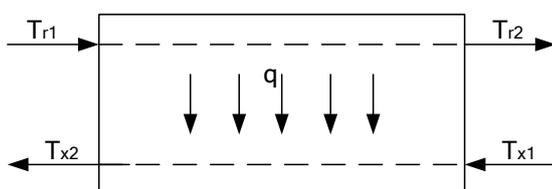


Рисунок 3 – Структурная схема поверхностного противоточного теплообменника

Температура T_{x2} зависит от скорости передачи тепла или теплового потока q через стенку; в свою очередь эта температура определяется движущей силой процесса или средним температурным напором $\Delta T_{ср}$. Величина $\Delta T_{ср}$ представляет собой

логарифмическую разность температур

$$\Delta T_{cp} = \frac{(T_{r1} - T_{x2}) - (T_{r2} - T_{x1})}{\ln \frac{T_{r1} - T_{x2}}{T_{r2} - T_{x1}}}$$

Величина ΔT_{cp} зависит от значений температур теплоносителей на входе и выходе теплообменника и, в частности, от температуры T_{x2} . С возрастанием T_{x2} движущая сила процесса уменьшается и наоборот. Это свидетельствует о том, что поверхностные теплообменники обладают свойством самовыравнивания.

Если отношение $\left(\frac{T_{r1} - T_{x2}}{T_{r2} - T_{x1}}\right) < 4$, то движущую силу процесса при инженерных расчётах можно определить по среднеарифметической разности температур:

$$\Delta T_{cp} = \frac{(T_{r1} - T_{x2}) - (T_{r2} - T_{x1})}{2}$$

Погрешность такой замены не превышает 10 %.

Основное уравнение теплообменника $q = KA\Delta T_{cp}$ в этом случае примет вид

$$q = KA \frac{(T_{r1} - T_{x2}) - (T_{r2} - T_{x1})}{2}$$

Установим зависимость между температурой холодного теплоносителя на выходе T_{x2} и массовыми выходами теплоносителей и в случае, когда обменивающиеся тепло жидкости не изменяют своего агрегатного состояния.

Тепловой поток q через стенку выразим двумя следующими балансовыми уравнениями:

$$\begin{aligned} q &= c_r F_{mr} (T_{r1} - T_{r2}) \\ q &= c_x F_{mx} (T_{x1} - T_{x2}) \end{aligned}$$

где c_x и c_r – удельные теплоемкости теплоносителей, F_{mr} и F_{mx} – их массовые расходы.

Из этих уравнений найдём температуры T_{x2} и T_{r2} и подставим их в уравнение

$$q = \frac{KA}{2} \left\{ T_{r1} - \left[T_{x1} + \frac{q}{c_x F_{mx}} \right] + \left[T_{r1} + \frac{q}{c_r F_{mr}} \right] - T_{x1} \right\}$$

Из последнего равенства определим тепловой поток

$$q = \frac{(T_{r1} - T_{x1})}{\frac{1}{KA} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{c_x F_{mx}} + \frac{1}{c_r F_{mr}} \right)}$$

Разделив равенства, получим зависимость искомой относительной температуры от других величин процесса

$$\frac{(T_{x2} - T_{x1})}{(T_{r1} - T_{x1})} = \frac{1}{\frac{c_x F_{mx}}{KA} + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{c_x F_{mx}}{c_r F_{mr}} \right)}$$

Полученная зависимость в виде семейства кривых приведена на рисунке 4, где показано влияние массовых расходов теплоносителей на температуру T_{x2} .

Однако из зависимостей рисунка 4, следует, что температура T_{x2} более чувствительна к нагрузке холодного теплоносителя, чем к расходу горячего теплоносителя.

В связи с этим затрудняется качественное регулирование теплообменников в широком интервале изменения расходов теплоносителей, и требуются регуляторы с дифференцирующей составляющей.

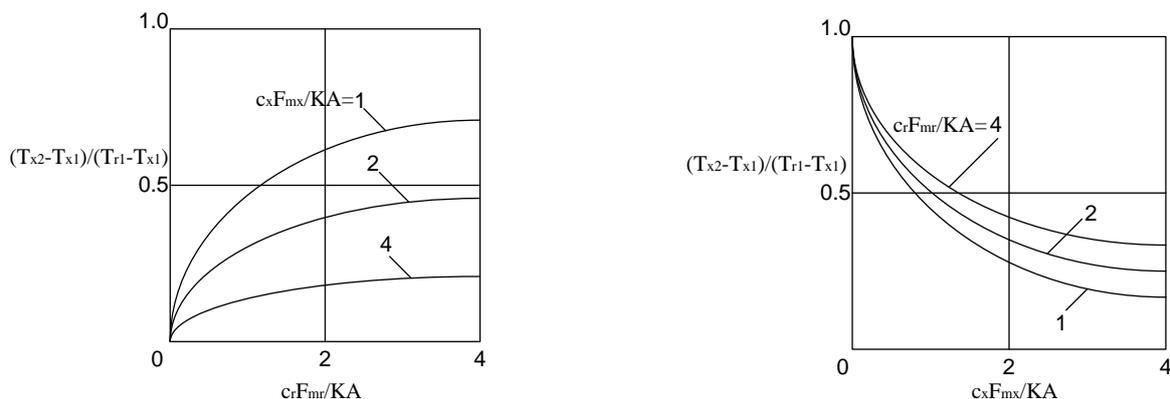


Рисунок 4 – Зависимость температуры на выходе теплообменника T_{x2} от массовых расходов холодного (x) и горячего (r) теплоносителей

Если по условиям технологии не допускается изменение потоков теплоносителей, то температуру продукта на выходе из теплообменника регулируют путём байпасирования части продукта и изменения его расхода. При этом регулирующий клапан устанавливают на байпасной линии.

При изменении агрегатного состояния теплоносителей их температура в теплообменнике практически не изменяется и скорость теплопередачи q можно определить по равенству

$$q = rF_m$$

где r – теплота фазового перехода, F_m – массовый расход среды

Если в качестве греющего агента применяют водяной пар, то температуру технологического продукта обычно регулируют путём изменения подачи пара.

При значительных колебаниях давления пара применяют каскадную систему регулирования давления пара с коррекцией по температуре нагретого продукта.

Выводы.

1. Выделены существенные факторы, влияющие на процесс автоматизации.
2. Анализ теплообменного аппарата как объекта управления показал, что исследуемый объект автоматизации является сложным, многомерным и многосвязным объектом управления, что не учтено существующими системами автоматического управления.
3. Из зависимостей установлено, что температура T_{x2} более чувствительна к изменению расхода холодного теплоносителя, чем горячего. Для эффективного регулирования процесса теплообмена требуются регуляторы с дифференцирующей составляющей.

Список литературы

1. Дудников Е.Г. Автоматическое управление в химической промышленности/ Е.Г. Дудников, А.В. Казаков, Ю.Н. Софиева, А.Э. Софиев, А.М. Цирлин – Москва: Химия, 1987. – 368 с.
2. Лапшенков Г.И. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности/ Г.И. Лапшенков, Л.М. Полоцкий – Москва: Химия, 1982. – 377 с.
3. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии/ И.Л. Иоффе – Л.: Химия, 1991. – 352 с.