

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫМИ АППАРАТАМИ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Каюмов К.Г.¹, Кадырбаев М.С.²

¹Каюмов Камиль Гафутдинович - доцент факультета Информационных технологий и энергетики, Южно-Казахстанского Университет им. М. Ауэзова

²Кадырбаев Момыш Султанмуратович - студент магистратуры факультета Информационных технологий и энергетики, Южно-Казахстанского Университет им. М. Ауэзова

Шымкент, Казахстан

Аннотация: в статье анализируются методы моделирования систем управления теплообменными аппаратами и предлагается изучение и оптимизацию системы управления линии теплообмена на основе использования регуляторов, связанных с временным откликом системы. Разработка структуры системы регулирования давления пара на основе поддержания постоянства температуры продукта на выходе либо с коррекцией по температуре.

Ключевые слова: система регулирования, выходная температура, времени запаздывания объекта, тепловой поток, регулятор температуры, тепловая нагрузка.

DESIGN OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS FOR HEAT EXCHANGERS IN VARIOUS OPERATING MODES

Kayumov K.G.¹, Kadyrbayev M.S.²

¹Kamil Gafutdinovich Kayumov – Associate Professor of the High school of Information Technologies and Power Engineering, M. Auezov South Kazakhstan University

²Momysh Sultanmuratovich Kadyrbayev – master's degree student of the High school of Information Technologies and Power Engineering, M. Auezov South Kazakhstan University

Shymkent, Kazakhstan



Abstract: *the article analyzes the methods of modeling control systems of heat exchangers and suggests the study and optimization of the control system of the heat exchange line based on the use of regulators associated with the time response of the system. Development of the structure of the steam pressure control system based on maintaining the constant temperature of the product at the outlet or with temperature correction.*

Keywords: *control system, output temperature, object delay time, heat flow, temperature controller, heat load.*

УДК 681.5

Разработка методологии проектирования, и эксплуатации систем управления теплообменников с использованием автоматизированных, компьютерных методов является в настоящее время особенно актуальной. Теплообменники, являются наиболее распространенными аппаратами, эксплуатируемыми в широком диапазоне рабочих температур и давлений. У поверхностных теплообменников большое отношение поверхности теплопередачи к объему, чем у трубчатых теплообменников, и их легче производить, они имеют большое разнообразие размеров и конфигураций. Оптимизация работы аппаратов теплообмена и расчеты систем управления становятся более эффективными, если используются компьютерные методы системного анализа и математического моделирования.

Выходные параметры температуры системы теплообменника должна поддерживаться на заданном уровне в соответствии с требованиями технологического регламента. Используемый, обычно для управления регулирующей контур управления с использованием обратной связи, для достижения задач управления приводит к значительным отклонениям значений параметров, что нежелательно. Чтобы уменьшить возникающие отклонения по перерегулированию и улучшить характеристики управления процессом теплообмена, предлагается используется регулятор прямого воздействия параллельно с контуром регулирования по обратной связи. Такая



схема управления с реализацией обратной связи и прямого управляющего воздействия значительно эффективней, чем стандартная схема управления.

Исследуемая система управления состоит из химических реакторов и теплообменной системы. Теплообменный аппарат производит нагрев рабочей среды до установочных технологией параметров, в качестве теплоносителя обычно используется перегретый пар с температурой 180 - 200° С, подаваемого с парового котла. В процессе управления обычно возникают следующие типы возмущений: - это изменение потока входящей жидкости, и изменение температуры входящей жидкости. На практике изменение потока входящего потока жидкости обычно является более существенным возмущением.

Исследование разрабатываемой системы управления

Чтобы реализовать систему управления нам необходимо решить следующие задачи:

- необходимо стабилизировать давление на заданном уровне за счет управления частотой вращения насосов;
- стабилизировать согласно задания температуру теплоносителя в контуре радиаторов с помощью управляемой задвижки;
- стабилизировать согласно регламента температуру теплоносителя, подаваемого в теплообменник. К теплообменному аппарату перегретый пар с парового котла поступает с фиксированной температурой. С помощью управляемой задвижки, осуществляется стабилизация подача пара.

Решение поставленных задач и результаты исследований

Для решения поставленных задач и построения математической модели системы управления давлением в отопительной системе по передаточной функции насоса.

Технологический поток, подлежащий нагреву, подается в систему теплообменника и нагревается до необходимого значения, за счет пара при температуре 180 ° С, подаваемый из котла. После того, как пар нагревают технологический поток, конденсированный пар при 100 С выходит из системы теплообменника. Также имеется путь для выхода неконденсируемого пара из



кожуха и теплообменной системы, чтобы избежать блокировки теплообменника. В этой исследовательской работе были рассмотрены различные варианты управления. Один из вариантов управления состоит в том, что скорость притока и оттока технологического потока одинакова, при этом уровень потока в теплообменнике поддерживается постоянным. Другой режим управления заключается в том, что теплоизоляционная способность стенки теплообменника незначительна, и при этом в контуре управления процессом с использованием обратной связи, контроллер имеет обратное действие, а в качестве исполнительного механизма воздействия на процесс использован клапан типа «воздух для открытия» (закрытие при отказе). В качестве датчика используется термопара, которая реализована в тракте обратной связи архитектуры управления. Температура выходного потока также измеряется термоэлектрическим преобразователем с унифицированным выходным сигналом в диапазоне 4-20 мА.

Контроллер согласно задания реализует алгоритм управления, сравнивая выходной сигнал с заданным значением, и дает команду управления на клапан исполнительного механизма. Преобразователь исполнительного механизма представляет собой преобразователь тока в давление, а конечный блок управления представляет собой воздушный клапан для открытия (закрытия при отказе). Блок привода принимает выходной сигнал контроллера в диапазоне 4-20 мА и преобразует его в этом процессе могут быть два типа возмущений: первое - это изменение расхода потока входящей жидкости, а второй - изменение температуры входного потока. На практике чаще изменение расхода входящего потока вызывает более существенное возмущение. Рассмотрим структурную схему управления теплообменным аппаратом с использованием обратной связи рисунок 1.



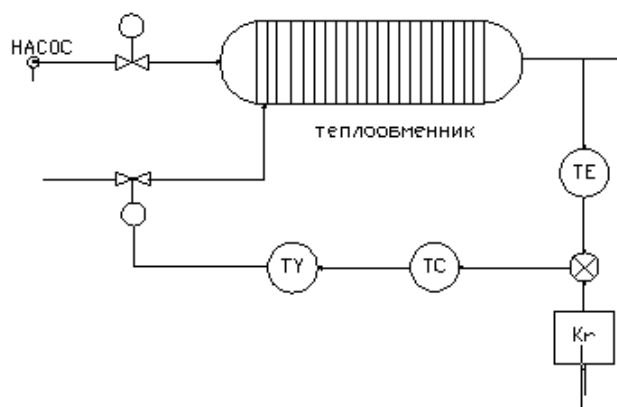


Рисунок 1 Предлагаемая функциональная схема управления теплообменным аппаратом

Моделирование системы управления

Возмущение, вызываемое входящим потоком, контролируется с помощью клапана управления подачей горячего теплоносителя. Дополнительно в контур управления подачей включается регулятор подачи, что улучшает производительность управления и усиливается оптимизация системы управления. Составим структурную схему управления, состоящую из теплообменника, устройства управления, исполнительного механизма, конечного элемента управления, датчика, уставки и возможных возмущений процесса. Из полученных экспериментальных данных получим передаточные функции управления температурой на выходе теплообменного аппарата используя регулятор обратной связи. Использование ПИД-регулирования остается наиболее популярным подходом в управлении процессами, что связано не только с простой структуры, которую легко понять, и дает возможность ручной настройки, но и обеспечивает оптимальную производительность в большинстве случаев. Рассмотрим характеристическое уравнение $(1+G(p) H(p) = 0)$ которое преобразуем в вид

$$900p^3 + 420p^2 + 43p + 0.798k + 1 = 0 \quad (1)$$

Исследуя по критерию устойчивости Рауса преобразуем значение k_c и используя вспомогательное уравнение $420p^2 + 0.798k + 1 = 0$ $\omega = 0,218$ и $T = 28,79$

Значение функции ПИД-регулятора при непрерывном значении времени можно представить в следующем виде



$$U(t) = k_c \left(e(t)^- + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t e(t) dt + \tau \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2)$$

При этом передаточная функция с ПИД регулированием будет иметь вид

$$W(p) = \frac{U(p)}{e(p)} = k_c \left(\frac{\tau_i \tau_d p^2 + \tau_i p + 1}{\tau_i p} \right) \quad (3)$$

$$W(p) = \frac{U(p)}{e(p)} = k_c \left(\frac{\tau_i p + 1}{\tau_i p} \right) \left(\frac{\tau_d p + 1}{1 + \tau_i p} \right) \quad (4)$$

$$W(p) = \frac{U(p)}{e(p)} = k_c \left(\frac{\tau_i p + 1}{\tau_i p} \right) \left(\frac{\tau_d p + 1}{1 + \alpha \tau_i p} \right) \quad (5)$$

Для расчета настроек ПИД-регуляторов, используемых в современной теории используют методы частотной характеристики [1, 2]. Идея метода Циглера-Никольса для расчета настроек АСР заключается в том, что сначала считают, что использован только П-регулятор, который, меняя значение S_{Π} настраивают так, чтобы замкнутая АСР находилась на границе устойчивости. Настройки рассчитывают с использованием эмпирических формул. Таким образом: принимают $S_{\text{И}}=0$ и $S_{\text{Д}}=0$, после чего рассчитывают или определяют экспериментально критическое значение настройки S_{Π}^* и соответствующее ему значения критической частоты ω^* , обеспечивающих вывод системы на границу устойчивости (т.е. определяют то значение $S_{\Pi}=S_{\Pi}^*$, когда на выходе АСР будут возникать незатухающие колебания X), а затем рассчитывают S_{Π} ; $S_{\text{И}}$; $S_{\text{Д}}$ на основе значений S_{Π}^* и ω^* .

В связи с недостаточностью информации о динамическом протекании процесса, в отдельных случаях не обеспечиваются достаточно эффективная настройка при использовании отклика с обратной связью. Однако метод Циглера – Никольса иногда имеет отклонения от режима стабилизации на заданные режимы уставки. По заданным режимам параметров настройки частотной характеристики по методу Циглера-Никольса $K_p=0,6$, $K_c = i = 0,5T$ и $d=0,125T$.



Переходной процесс в системе зависит не только от свойств АСР, но и от характера внешнего воздействия, которое в общем, виде может быть сложной функцией времени. Поведение системы рассматривают при следующих типовых воздействиях ступенчатой единичной функцией $S(t)$, импульсной $\delta(t)$ и гармоничной функции. Прямые качества оценки качества получают по кривой переходной характеристики $h(t)$, то есть при воздействии единичной ступенчатой функцией. При реализации рассчитывают настройки основного регулятора по передаточной функции эквивалентного объекта ПИД-регулятора, которые составляют $K_p = 14,28$, $t_i = 14,395$, $t_d = 3,59$ и $P = 23,8$, $I = 1,65$, $D = 85,442$.

Начальные расчетные параметры ПИД-регулятора, необходимо корректировать посредством компьютерного моделирования до тех пор, пока система с обратной связью не обеспечит заданную точность. Чтобы иметь хорошее время отклика замкнутого контура регулирования, при проектировании ПИД-регулятора необходимо учитывать функции производительности.

Так как в данной системе насос представляет собой инерционный объект, то в качестве передаточной функции насоса можно использовать передаточную функцию апериодического звена первого порядка вида:

$$J(K_p, K_i, K_d) = \int_0^{\infty} (r(t) - \gamma(t))^2 dt \quad (6)$$

$$J(K_p, K_i, K_d) = \int_0^{\infty} t |r(t) - \gamma(t)| dt \quad (7)$$

где K_n – коэффициент передачи насоса; T - постоянная времени насоса.

Выбор оптимального режима ПИД-регулятора определяется как $\min J(K_p, K_i, K_d)$. При этом возмущения вносят ошибку в работе системы. Возмущение системы можно предсказать, и устранить влияние с помощью управления регулятора прямой связи до того, как он сможет изменить выходной сигнал системы. В схеме управления с обратной связью датчик определяет выходной сигнал процесса и выдает ошибку контроллеру, который, в свою очередь,



предпринимает соответствующие управляющие действия. Но до тех пор, пока управляющее воздействие не достигнет процесса, выход был изменен. Таким образом, был реализован регулятор прямой связи параллельно с регулятором обратной связи [4].

Исходными данными для математического моделирования статики обычно являются табличные или графические зависимости между входами и выходами ТООУ в установившемся режиме. Обычно целью этого является получение значимых коэффициентов линейных или нелинейных алгебраических уравнений или систем уравнений, адекватных рассматриваемым закономерностям. Основной регулятор с прямой связью изменяет управляющую переменную по отклонению от заданного предела до того, как возмущение может повлиять на выход. При этом вспомогательный регулятор поддерживает значение вспомогательного параметра на определенном уровне, необходимом для стабилизации основного параметра и уменьшения процесса перерегулирования.

Таким образом, расчёт каскадной АСР сводится к определению настроек основного и вспомогательного регуляторов при заданных значениях динамических характеристиках объекта управления по основному и вспомогательному каналам. Поскольку настройки основного и вспомогательного регуляторов взаимозависимы, расчёт настроек проводят методом итераций.

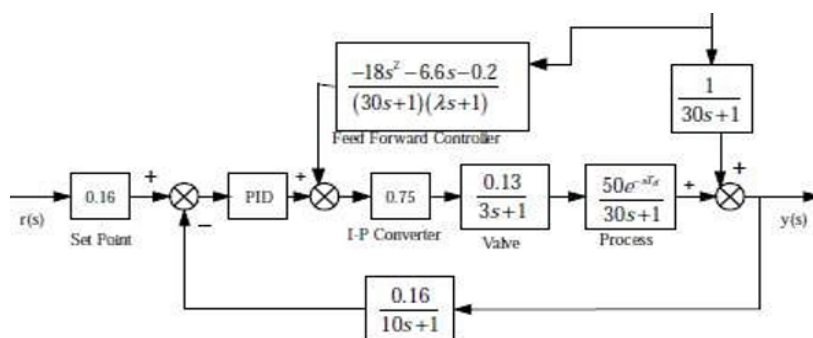


Рисунок 2– Структурная схема САУ теплообменным аппаратом

Чтобы дополнительно минимизировать процесс перерегулирования, на прямом пути процесса вводится основной регулятор прямой связи вместе с



регулятором обратной связи. Комбинированный эффект обратной связи и регулятора с прямой связью снижает значение перерегулирования. На рисунке 2 представлена структурная схема передаточной функции системы с обратной связью и регулятором прямой связи.

При проектировании системы управления с временным отклонением решение сводится к определению настроек с требованием, связанным с временным откликом системы [3]. Таким образом, расчёт каскадной АСР осуществляется определением стандартных величин: времени нарастания, времени установления, перерегулирования, времени пика и ошибки установившегося состояния ступенчатой характеристики. Сравнительные характеристики при исследовании показали, что при использовании ПИД-регулятора в контуре обратной связи теплообменник производит выброс на 36%. Чтобы снизить всплеск эффекта перерегулирования, использован регулирующий контур прямой связи в сочетании с обычным ПИД-регулятором в контуре обратной связи. Использование этого метода управления снижает скачок перерегулирования системы до 25-30%. За счет использования ПИД-регулятора на основе внутренней модели перерегулирование уменьшается. В контуре регулирования с обратной связью время стабилизации основного параметра составляло около 115 с, тогда как в каскадной АСР исследуемого объекта наблюдается ряд положительных характеристик: -малое время переходного процесса; - малое значением статической ошибки.

Из результатов исследований вытекает, что ПИД-регулятор на основе внутренней модели является гораздо лучшим вариантом для управления, чем обычные обратная связь и обратная связь плюс регулятор прямой связи.

Список литературы

1. R.Vilanova et.al, "A Framework for Disturbance Attenuation on SISO Stable/Unstable Systems", in Proceedings of 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2008, pp. 2976-29.
2. Kiam Heong Ang, Gregory Chong and Yun Li, "PID Control System Analysis, Design, and Technology," IEEE transaction on control system technology, vol. 13, no. 4, 2005, pp. 559-576



3. Рапопорт И. Я. Анализ и синтез систем автоматического управления с распределенными параметрами. — М.: Высш. шк. 2005. — 292 с.
4. Каюмов К. Г., Кадырбаев М. С. Оптимизация модели системы управления теплообменного оборудования смешения. - Казань ООО «Издательство Молодой ученый» № 3. 345с., 2021.

