

УДК 681.5

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ АЗОТА В ЕМКОСТИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ КАТАЛИЗАТОРНОГО КОМПЛЕКСА С ДВУМЯ УПРАВЛЯЮЩИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

Д.Г. Бурмантов, С.В. Ефимов, В.И. Коновалов, Е.А. Кочегурова, В.В. Курганов

Томский политехнический университет

E-mail: vk@aic.ru

Предлагается вариант системы автоматического регулирования давления азота в ёмкости для хранения катализаторного комплекса. Особенностью системы является использование одного регулятора с двумя управляющими воздействиями и применение гистерезиса при формировании управляющего сигнала.

Ключевые слова:

Автоматическое регулирование, избыточность вектора управления.

Key words:

Automatic control, command vector redundancy.

При внедрении систем автоматического управления промышленными объектами зачастую возникают особенности, не рассматриваемые в классической теории управления. Опыт практической реализации таких систем может быть интересен для разработчиков и исследователей, работающих в области автоматического управления.

Рассмотрим возникшую на практике задачу автоматизации регулирования давления в ёмкости для хранения катализаторного комплекса на производстве полипропилена на Томском нефтехимическом комбинате (ТНХК). Катализаторный комплекс хранится в ёмкости под давлением азота. Он закачивается в ёмкость и откачивается из неё в соответствии с ходом технологического процесса, при этом давление азота должно оставаться постоянным. Для стабилизации давления используются два регулирующих клапана. Первый обеспечивает подачу азота с избыточным давлением в ёмкость (азотный клапан), второй служит для срабатывания азота в атмосферу (клапан сдувки). Объёмный расход азота через эти клапаны обозначим соответственно Q_p и Q_s . Для поддержания заданного давления используются оба клапана. Управление клапанами осуществляется вручную.

Необходимо построить систему автоматического управления этим объектом на базе промышленных микропроцессорных контроллеров (МПК). Так как такт работы МПК несоизмеримо мал по сравнению со временем переходных процессов в

объекте управления, то будем рассматривать систему управления как непрерывную. Тем более, что стандартное программное обеспечение МПК в виде функциональных блоков описано на языке непрерывной математики.

С точки зрения современной теории управления данная система автоматического регулирования (САР) является системой с избыточной размерностью вектора управления [1], т. к. для управления одной выходной переменной — давлением P — используются два управляющих воздействия: Q_p и Q_s . Общая структурная схема системы управления приведена на рис. 1, где СУ — система управления; ОУ — объект управления; $P_{з\text{дн}}$ — задание по давлению азота в ёмкости; ε — ошибка регулирования; f — внешнее возмущение, определяемое поступлением в ёмкость и расходом из неё катализаторного комплекса.

Особенностью предлагаемой системы является использование одного регулятора, который в конкретный момент времени управляет только одним расходом — Q_p либо Q_s . При этом упрощается работа оператора, сокращается число панелей управления регулирующими клапанами на мониторе.

Рассмотрим подробнее выбор закона регулирования. К наиболее распространённому типу промышленных регуляторов относятся регуляторы, использующие пропорционально-интегрально-дифференциальный закон (ПИД-закон) [2, 3]:

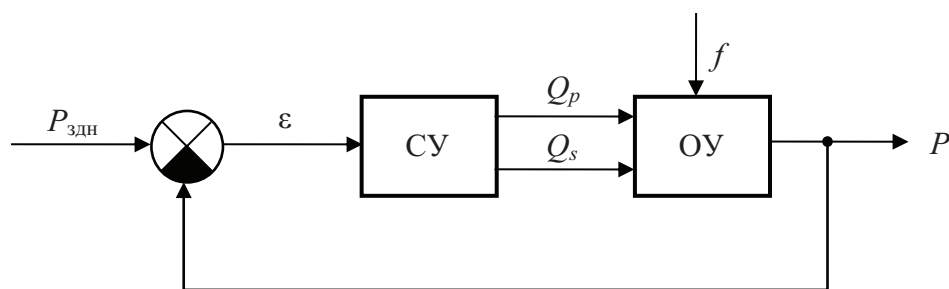


Рис. 1. Система управления давлением азота

$$u(t) = K_{\Pi} \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_{\Pi}} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau + T_{\text{д}} \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right],$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие, формируемое регулятором; $\varepsilon(t) = P_{\text{зпн}} - P(t)$; K_{Π} , T_{Π} , $T_{\text{д}}$ – настройки регулятора (коэффициент пропорциональности, постоянные интегрирования и дифференцирования соответственно).

Известно, что модель объекта управления в САР давления в ёмкости описывается аperiodическим звеном первого порядка [4] с передаточной функцией $W(s) = K/(Ts+1)$, где K – статический коэффициент передачи, T – постоянная времени объекта. Входная переменная – расход газа на нагнетании, выходная – давление в ёмкости.

Тогда при использовании ПИД-закона регулирования передаточная функция замкнутой системы будет иметь следующий вид:

$$W(s) = \frac{K_{\Pi} K (T_{\Pi} T_{\text{д}} s^2 + T_{\Pi} s + 1)}{(K_{\Pi} K T_{\Pi} T_{\text{д}} + T_{\Pi} T) s^2 + (K_{\Pi} K T_{\Pi} + T_{\Pi}) s + K_{\Pi} K}.$$

Такая система будет обладать усиленными форсирующими свойствами, что приведет к наличию скачков в управлении при изменении задания. Для ликвидации этого недостатка порядок числителя передаточной функции замкнутой системы можно понизить, используя пропорционально-интегральный закон (ПИ-закон) регулирования, при этом

$$W(s) = \frac{K_{\Pi} K (T_{\Pi} s + 1)}{T_{\Pi} T s^2 + (K_{\Pi} K T_{\Pi} + T_{\Pi}) s + K_{\Pi} K}.$$

Использование в системе управления только пропорциональной составляющей нецелесообразно, т. к. установившаяся ошибка в системе не будет равна нулю.

В соответствии с выбранным алгоритмом регулирования МПК рассчитывает управляющие воз-

действия в каждый такт времени: $u[t_j]$, $u[t_{j+1}]$, Эти воздействия передаются на вход цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), на выходе которого формируется сигнал в диапазоне 4...20 мА. Выход ЦАП токовой петлей связан с двумя электропневмопреобразователями, управляющими азотным клапаном и клапаном сдувки.

До внедрения АСУ ТП на производстве полипропилена на ТНХК управление азотным клапаном и клапаном сдувки велось дистанционно с помощью одного ручного задатчика. Клапан азота открывался при значении выходного сигнала задатчика более 12 мА, если сигнал менее 12 мА начинает открываться клапан сдувки, азотный клапан при этом полностью закрыт, рис. 2.

При автоматическом управлении вместо ручного задатчика используется ЦАП, управляемый МПК в соответствии с алгоритмом ПИ-регулирования. Управляющие воздействия Q_p и Q_s формируются в зависимости от знака и величины ошибки регулирования $\varepsilon(t)$, рис. 3.

При практической реализации САР с алгоритмом ПИ-регулирования выяснилось, что в окрестности рабочей точки, когда $P(t) \approx P_{\text{зпн}}$ и, соответственно, $\varepsilon(t) \approx 0$, происходит частое открывание то азотного клапана, то клапана сдувки, что недопустимо по требованиям технологии. Использование обычной зоны нечувствительности Δ , в пределах которой алгоритм регулирования обнуляет ошибку $\varepsilon(t)$, не позволило устранить этот недостаток полностью. Поэтому для уменьшения частоты срабатывания клапанов введена так называемая зона гистерезиса Δ_1 , $\Delta_1 > \Delta$. При попадании значений регулируемого параметра P в эту зону, алгоритм регулирования работает по-разному, в зависимости от направления изменения значений P . При выходе давления P из зоны Δ в зону Δ_1 отменяется обнуление

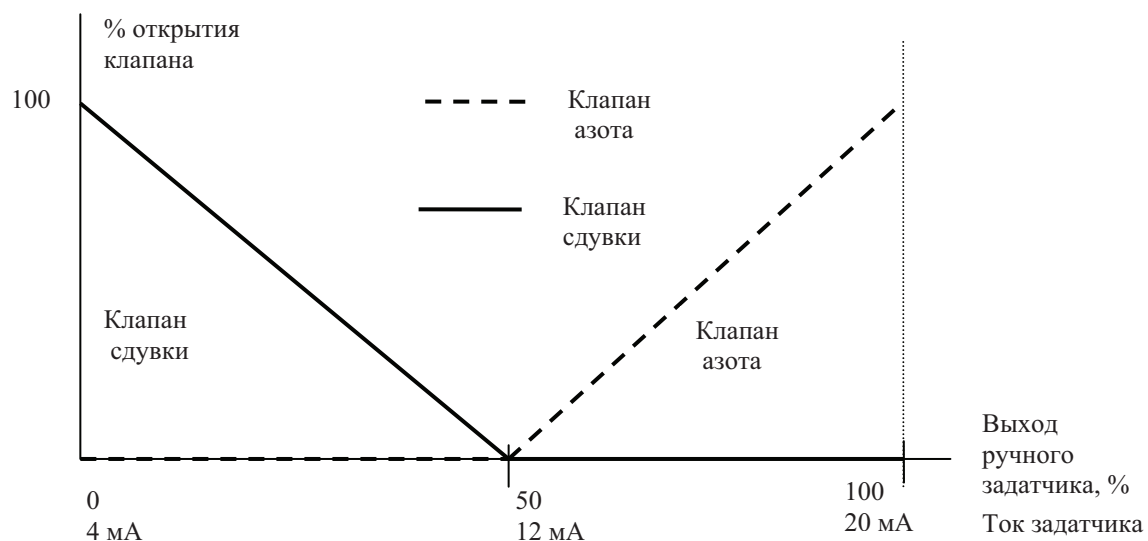


Рис. 2. Формирование управляющих воздействий с помощью ручного задатчика

ошибки регулирования, но «замораживается» значение управляющего воздействия: $u[t_j] = u[t_{j-1}]$. При выходе регулируемого параметра за пределы зоны Δ_1 ПИ-алгоритм формирует управляющее воздействие с учетом накопленных значений ошибки регулирования, что приводит к надежному открытию азотного клапана или клапана сдувки. При входе давления P в зону гистерезиса со стороны $P > P_{\text{здн}} + \Delta_1/2$ или $P < P_{\text{здн}} - \Delta_1/2$ управляющее воздействие формируется по ПИ-закону вплоть до входа в зону нечувствительности Δ .

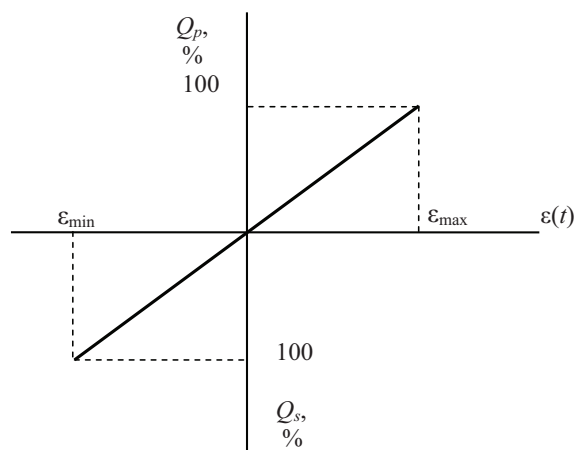


Рис. 3. Формирование управляющих воздействий в зависимости от ошибки регулятора

С учетом этих модификаций формирование воздействий Q_p и Q_s показано на рис. 4. Для удобства программирования в решающем правиле работы логической части системы управления используется не ошибка регулирования $\varepsilon(t)$, а значение регулируемой величины P .

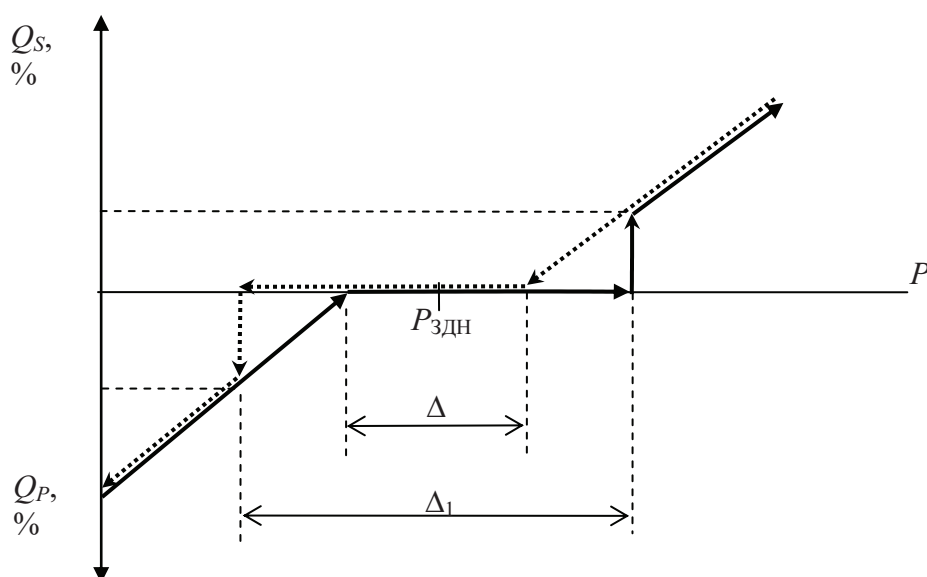


Рис. 4. Диаграмма формирования управляющих воздействий Q_s и Q_p в зависимости от давления P

В зависимости от значения давления P система управления либо формирует управление по ПИ-закону с подачей его на выход, связанный с клапаном дозировки азота Q_p (сигнал на выходе ЦАП больше 12 мА) или клапаном сдувки Q_s (сигнал на выходе ЦАП меньше 12 мА), либо выдает сигнал, равный 12 мА, при котором оба клапана закрыты. Процесс изменения управляющего воздействия на клапаны во времени иллюстрирует рис. 5. Стрелками показаны границы действия того или иного правила для формирования закона регулирования.

При настройке данной САР необходимо выбрать стандартные настроечные параметры ПИ-регулятора Δ , K_p , T_i , а также значения зоны Δ_1 . Для системы регулирования давления в ёмкостях для хранения катализаторного комплекса на производстве полипропилена экспериментально были подобраны значения $\Delta=1\%$ и $\Delta_1=6\%$, $K=2$, $T_i=20$ с.

Предложенная система управления была реализована на МПК Siemens и внедрена в эксплуатацию на ТНХК в 2009 г., что позволило автоматизировать процесс регулирования давления азота в ёмкостях для хранения катализаторного комплекса. Система может быть использована в системах управления хранением различных жидкообразных продуктов, находящихся в ёмкостях под «азотным дыханием».

Выводы

Предложена и апробирована на производстве полипропилена система автоматического регулирования давления азота в ёмкости для хранения катализаторного комплекса.

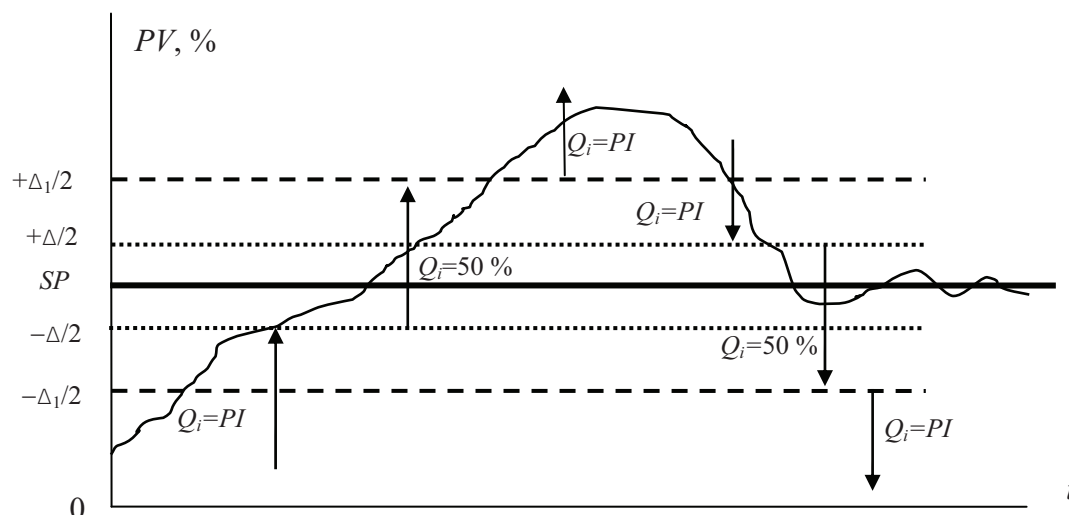


Рис. 5. Формирование управляющего воздействия на азотные клапаны; PV – регулируемая величина; SP – задание; Q_i – выход регулятора; PI – уравнение по ПИ-закону

Система регулирования содержит один регулятор с двумя управляющими воздействиями по ПИ-закону регулирования на клапаны подачи азота с избыточным давлением и стравливания азота в атмосферу.

Модификация алгоритма управления с применением гистерезиса позволила исключить частое переключение управления с одного клапана на другой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышенко А.М. Системы автоматического управления с избыточной размерностью вектора управления. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 302 с.
2. Ang K.H., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2005. – V. 13. – № 4. – P. 559–576.
3. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации // Современные технологии автоматизации. – 2006. – № 1. – С. 66–74.
4. Эрриот Н. Регулирование производственных процессов. – М.: Энергия, 1967. – 480 с.

Поступила 29.03.2010 г.