

УДК 681.5:19

**МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ
В ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

В.В. Михайлов, И.А. Тутов

Томский политехнический университет

E-mail: avis2002@rambler.ru

Михайлов Валерий Васильевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доцент кафедры интегрированных компьютерных систем управления Института кибернетики ТПУ.
E-mail: vvm@tpu.ru

Область научных интересов: технические средства автоматизации.

Тутов Иван Андреевич, студент Института кибернетики ТПУ.

E-mail: tutovne@sibmail.com
Область научных интересов: автоматизация технологических процессов.

Показана возможность реализации процесса регулирования давления в газораспределительной сети с использованием самоподстраивающегося регулятора.

Ключевые слова:

ПИД-регулятор, газораспределительная сеть, настройка, стабилизация давления, контроллер.

В настоящее время в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) широко используются ПИД-регуляторы различных модификаций. Свою популярность ПИД-регулирование завоевало благодаря ясности функционирования, пригодности для решения большинства практических задач и относительной простоте реализации. Однако в АСУ ТП для достижения универсальности регулирования при изменении режима работы объекта (температуры и давления технологического процесса и окружающей среды, натяжения транспортировочной ленты и т. п.) часто используют уменьшенные значения коэффициентов ПИД-регуляторов по сравнению с оптимальными. Это объясняется тем, что в современных условиях эксплуатации систем регулирования в составе АСУ ТП у инженера нет достаточного резерва времени, чтобы производить оптимальную настройку регулятора каждый раз при изменении режима работы объекта, а у оператора недостаточная квалификация, чтобы заниматься такой настройкой [1, 2].

В системах стабилизации давления в газораспределительной сети (ГРС) также используются ПИД-регуляторы. Свойства газа в значительной степени зависят от его температуры. Этот параметр в регуляторах не учитывается, что приводит к неоптимальности настроек регулятора и, как следствие, повышенным трудозатратам при настройке и снижении энергоэффективности управления. Это особенно актуально для ГРС, эксплуатирующихся в условиях средней полосы России и Крайнего Севера, где годовой перепад температур может составить 100 °С.

Рассмотрим автоматизированную систему управления давлением ГРС с использованием контроллера. Регулирование давления осуществляется типовым способом «сравливания» давления через задвижку с электроприводом на факел низкого давления (ФНД).

Согласно уравнению Менделеева–Клапейрона для идеального газа:

$$\frac{pV}{T} = \nu R, \quad (1)$$

где p – давление газа, V – объем газа, T – абсолютная температура °К, ν – молярная масса газа, R – универсальная газовая постоянная.

Таким образом, для расхода (потока) газа Q уравнение (1) преобразуется в следующий вид:

$$Q = \frac{dv}{dt} = \frac{dp}{dt} \cdot \frac{V}{TR}. \quad (2)$$

Значит, для того чтобы давление в системе оставалось стабильным, необходимо выполнение условия:

$$Q_{\text{пр}} - Q_{\text{по}} - Q_{\text{ф}} = 0, \quad (3)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – суммарный дебит газа притока, $Q_{\text{по}}$ – суммарный расход газа потребителями, $Q_{\text{ф}}$ – поток газа на ФНД.

Переходные процессы (ПП) в системе «затворка–двигатель» происходят намного быстрее, чем ПП в ГРС, поэтому ими можно пренебречь. Вязкостью газа, ввиду использования труб большого диаметра, можно также пренебречь. Затворка управляется только двумя дискретными управляющими командами контроллера: «открыть затворку» и «закрыть затворку».

Для удобства последующих расчётов введём параметр K , который определяет соотношение параметров газа:

$$K \triangleq \frac{TR}{V},$$

тогда уравнение (2) можно представить в виде: $p(t) = K \cdot \int_0^t Q dt$.

В этом случае модель трубопроводной сети описывается следующими уравнениями:

$$Q^* = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{по}}, \quad (4)$$

где Q^* – разность притока и расхода газа ГРС без учета расхода на ФНД,

$$\begin{cases} p(t) = K \cdot \int_0^t (Q^* - Q_{\text{ф}}) dt; \\ Q_{\text{ф}} = k \varphi; \\ \varphi = k_{\text{ов}} \int_0^t \omega dt; \\ \omega = \text{const}, \end{cases} \quad (5)$$

где $p(t)$ – текущее значение давления в системе, φ – угловое положение заслонки, k – коэффициент зависимости расхода газа от углового положения заслонки, $k_{\text{ов}}$ – коэффициент редукции привода, ω – угловая скорость вращения затворки приводом.

Для решения задачи стабилизации давления газа воспользуемся методом фазового пространства [3, 4]. Переменными состояния выберем значения давления и углового положения заслонки (рис. 1).

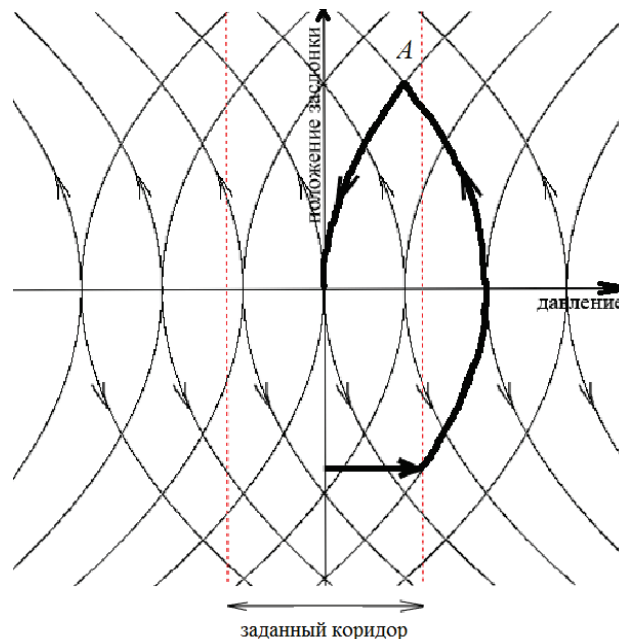


Рис. 1. Фазовый портрет системы

Для того, чтобы после регулирования система находилась в стабильном состоянии, необходимо рассчитать конечное положение заслонки (φ_k), определяемое из условия выполнения равенств (3, 4):

$$Q^* = k \varphi_k. \quad (6)$$

Теперь задача сводится к вычислению положения заслонки (φ_n), при достижении которого двигатель должен сменить направление вращения (точка А на рис. 1). Подставив уравнения (5) в первое уравнение системы и проинтегрировав, получим выражение:

$$p_3 = p_0 + K \cdot \left[(Q^* - \varphi_0)t_2 - \frac{\omega t_1^2}{2} + (Q^* - \varphi_n)t_2 + \frac{\omega t_2^2}{2} \right], \quad (7)$$

где p_3 – заданное давление в системе, p_0 – давление на момент выхода из заданного коридора, K – соотношение параметров газа, Q^* – разность притока и расхода газа ГРС без учета расхода на ФНД, φ_0 – положение заслонки на момент выхода из коридора, φ_n – положение заслонки при смене направления вращения привода, t_1 – время открытия заслонки, t_2 – время закрытия заслонки, ω – скорость вращения привода задвижки.

Решив уравнения (6, 7) совместно с уравнениями

$$\begin{cases} t_1 = \frac{\varphi_n - \varphi_0}{\omega}; \\ t_2 = \frac{\varphi_k - \varphi_n}{\omega}, \end{cases} \quad (8)$$

можно определить значение φ_n .

Положение заслонки ограничено интервалом (0–90°). В случае выхода фазовой траектории за этот интервал расчет производится с применением свойства симметрии фазовых траекторий при смене направления вращения. На практике интервал крайних положений задвижки оказывается несколько меньше расчётного.

В приведённых расчетах работоспособность системы описана для идеального газа при фиксированной температуре, объеме и составе. Данные условия отличаются от реальных производственных. Введем поправочный коэффициент ΔK , учитывающий реальные значения параметров газа. На основании этого рассмотрим следующее объединение параметров:

$$\begin{cases} p(t) = p_0 + K \cdot Q t; \\ p'(t) = p_0 + K' \cdot Q t; \\ \Delta K = K' - K, \end{cases} \quad (9)$$

где $p(t)$ – расчетное давление в момент времени t при параметрах K , $p'(t)$ – фактическое измеренное давление в момент времени t , $p_0(t)$ – начальное значение давления, Q – расход (поток) газа, K – исходное соотношение параметров газа, K' – новое соотношение параметров газа.

Тогда из объединения (9) K' определится как:

$$K' = \frac{K(p'(t) - p_0)}{p(t) - p_0}. \quad (10)$$

Таким способом производится необходимая для расчетов корректировка соотношений параметров газа.

Работа системы стабилизации представлена на схематическом графике (рис. 2).

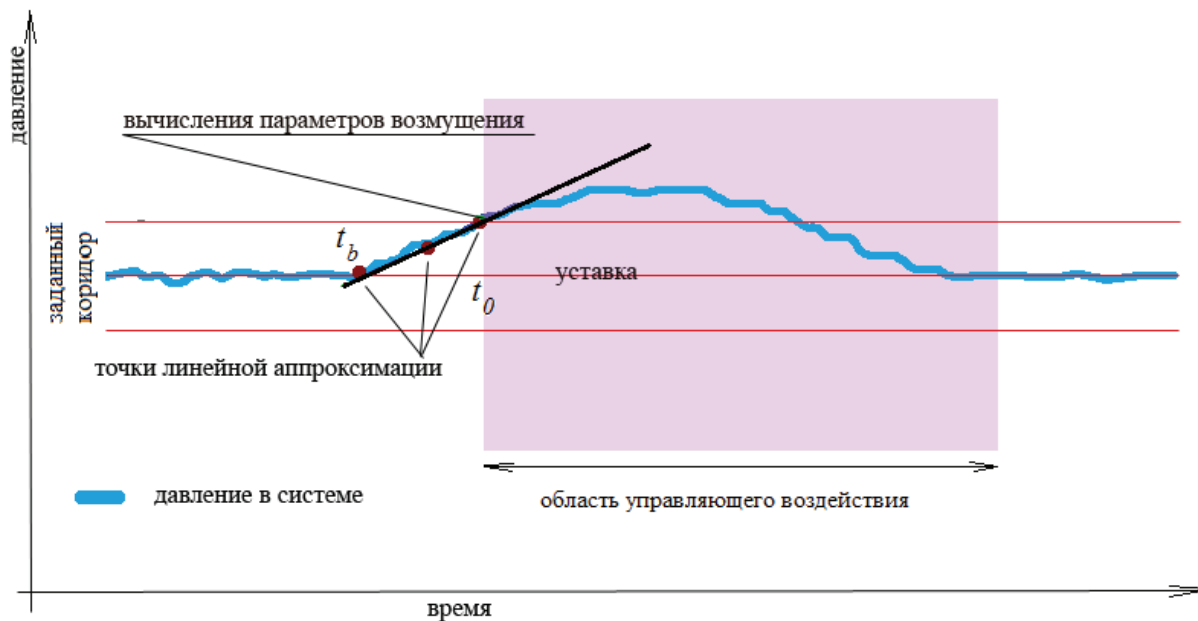


Рис. 2. Работа системы стабилизации при изменении давления газа

Изначально система находится в статическом состоянии. В момент времени t_b один из структурных объектов перестает работать, например, отключился один из потребителей. Так как условие (3) не выполняется, давление в ГРС начинает возрастать. В момент времени t_0 давление выходит за граничное значение заданного коридора, и начинает действовать регулятор. Система определяет изменение расхода газа как возмущающее воздействие. Тогда текущее значение Q^* разности притока и расхода газа в ГРС без учета расхода на ФНД определяется в соответствии с формулой:

$$Q^* = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{p_i - p_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \right)}{n},$$

где p_i — значение давления в текущий момент времени t_i , p_{i-1} — значение давления в предыдущий момент времени t_{i-1} , n — количество измерений.

Далее определяется конечное положение заслонки ϕ_k в соответствии с формулой (6). Затем производится расчет времени (8) и его отсчет, либо расчет значения давления и положения заслонки, по достижении которых осуществляется изменение направления вращения привода или его остановка. По окончании процесса регулирования считывается текущее значение давления. В случае превышения допустимого отклонения текущего значения давления от расчетного пересчитывается значение коэффициента K' (10), которое сохраняется как K и будет использовано для расчетов при следующем включении регулятора.

В таком случае регулятор обеспечивает достаточно устойчивое качество стабилизации давления в широком диапазоне колебаний температуры, изменении структуры ГРС, изменении состава газа, экономит потребление электроэнергии, уменьшает износ механических частей.

Данный принцип регулирования может быть представлен алгоритмом управления для контроллера, выполняющего функции регулятора.

Такой самоподстраивающийся регулятор можно использовать не только для ГРС, но и для систем, структурная схема объекта управления которых содержит два последовательных интегратора в прямом треке. Регулятор позволяет отказаться от приводов с частотным управлением и ШИМ-преобразователями, что позволяет упростить систему. При этом уменьшается количество включений и выключений силовых частей, что в некоторых случаях позволяет отказаться от высокоскоростных контакторов и использовать более простые устройства. Вместе с этим, увеличивается ресурс наработки системы на отказ. Кроме всего прочего самоподстраивающийся регулятор, в отличие от ПИД-регулятора, использует не аналоговый вывод, а два

дискретных. Для его настройки достаточно задать ширину коридора, выбрав баланс между точностью и количеством включений регулятора. С этой задачей вполне может справиться оператор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. Ч. 1 // Современные технологии автоматизации. – 2006. – № 4. – С. 66–74;
2. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. Ч. 2 // Современные технологии автоматизации. – 2007. – № 1. – С. 78–88.
3. Малышенко А.М. Математические основы теории систем: учебник для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 352 с.
4. Востриков А.С., Французова Г.А. Теория автоматического регулирования: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2006. – 365 с.

Поступила 24.05.2012 г.