

МОДЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПУНКТА РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА

Пастухов А.И.¹

Научный руководитель: Громаков Е.И.²

¹*Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники 8Т11, e-mail: air28@tpu.ru*

²*Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, доцент, e-mail: gromakov@tpu.ru*

Аннотация

В работе рассмотрена автоматизация пунктов редуцирования газа на газораспределительной станции. Предложено решение по модернизации автоматизации управления пунктов редуцирования газа с применением переопределяющего метода (англ. Override) управления по давлению и подаче газа через две линии редуцирования.

Ключевые слова: пункт редуцирования газа, переопределяющий метод, природный газ, давление, расход.

Введение

Пункты редуцирования газа (ПРГ) являются важными элементами сетей газораспределения. Их работа во многом влияет на эффективность и стабильность поставок природного газа потребителям. В связи с устареванием оборудования значительной части ПРГ, построенных в 20 веке и неспособных вести устойчивый оптимальный режим управления, возникает необходимость в проведении модернизации с использованием современных средств автоматизации [1].

Для улучшения качества регулирования технологических параметров и увеличения уровня стабильности поставок газа необходимы новые решения по автоматизации пунктов редуцирования газа. В данной работе предлагается вариант системы управления ПРГ с использованием переопределяющего (англ. Override) алгоритма управления подачей газа потребителю для двух линий редуцирования: основной и резервной.

Описание решения по модернизации пункта редуцирования газа

В РФ расположено большое количество пунктов редуцирования газа, призванных снижать давление природного газа для поставки его потребителям [2]. Поскольку типовые схемы газораспределительных систем были созданы несколько десятилетий назад, возникает проблема морального и физического устаревания оборудования существующих ПРГ. Стоит отметить, что в ходе диагностических испытаний сроки службы части ПРГ, хотя и продляются, однако, это не является решением данной проблемы. Помимо этого, многие потребители (заказчики природного газа) отмечают значительные колебания поставки и потребления природного газа в различные периоды работы ПРГ. В частности, в летний период наблюдается малый расход газа, тогда как в зимний период потребление газа значительно увеличено, из-за чего существует проблема с поддержанием давления газа на заданном уровне.

В настоящее время эксплуатация части существующих ПРГ сводится к проведению текущего, капитального ремонта оборудования и зданий ПРГ. Ввиду проблем, связанных с безопасной и бесперебойной поставкой газа, согласно п. 44 Технического регламента «О безопасности сетей газораспределения и газопотребления» (принят с изменениями 14.12.2018 г.) запрещается использование всех видов обводной линии (байпаса), поскольку осуществлять полноценную и безопасную подачу газа потребителю по байпасу невозможно. Вот почему рекомендуется в плановом порядке выполнять работы по модернизации газораспределительных сетей, включающие в себя реконструкцию в ПРГ линий

редуцирования, а также применять современные средства автоматизации, позволяющие выполнять удаленный мониторинг состояния технологических блоков ПРГ и осуществлять дистанционное управление ими.

Для решения проблемы эффективной поставки газа потребителю на узле редуцирования газа ПРГ предлагается использовать автоматическую систему стабилизации давления газа с перенастройкой ее в случае большого потребления газа на автоматическую стабилизацию расхода. Это обеспечит стабилизацию поставки газа потребителю и, при применении современных средств КИПиА, возможность дистанционного управления режимами работы узла редуцирования с пульта оператора. Данная система рассчитана на использование двух линий редуцирования с идентичным оборудованием.

Поскольку регулирование предполагается осуществлять методом автоматического переключения расход/давления в потребительской линии ГРС, то для управления блоком редуцирования был выбран АРС алгоритм Override-типа [3]. На рисунке 1 представлена структурная схема предлагаемой системы автоматического управления (САУ) ПРГ.

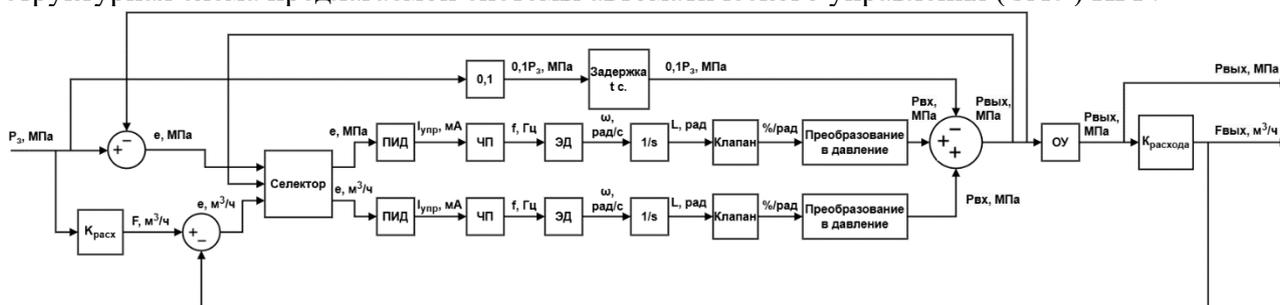


Рис. 1. Структурная схема предлагаемой САУ ПРГ

Были определены передаточные функции основных элементов структурной схемы.

Объектом управления является участок трубопровода между точкой измерения давления и регулирующим органом. Предполагается, что длина этого участка равна 10 метрам. Фактический расход газа после клапана определяется по формуле:

$$Q = K_v \sqrt{\Delta p}, \quad (1)$$

где $K_v = 400 \text{ м}^3/\text{час}$ – пропускная способность клапана, $\Delta p = 5,1 \text{ МПа} = 52,0055 \text{ кгс/м}^3$ – разница входного и выходного давления на трубопроводе пункта редуцирования газа (исходя из входного давления 6,3 МПа и выходного 1,2 МПа). Динамика объекта управления $W(p)$ [4], выраженная передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{Q_k(p)}{Q(p)} = \frac{k}{T_p + 1}, \quad (2)$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q}, \quad (3)$$

$$c = \frac{Q}{f} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}}, \quad (4)$$

$$f = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (5)$$

где $Q_k(p)$ – объёмный расход газа после клапана; $Q(p) = Q$ – измеряемый объёмный расход $\rho = 0,8 \text{ кг/м}^3$ – плотность природного газа; $L = 10 \text{ м}$ – длина участка трубопровода между точкой измерения и точкой регулирования; $d = 200 \text{ мм} = 0,2 \text{ м}$ – диаметр трубы; f – площадь сечения трубы; T – постоянная времени; $k \approx 1$ – коэффициент передаточной функции.

Подставив исходные данные в приведенные формулы, были рассчитаны параметры передаточной функции:

$$Q = K_v \sqrt{\Delta p} = 400 \cdot \sqrt{51} = 2856,57137 \frac{\text{м}^3}{\text{час}} = 0,793492 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (6)$$

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} = 0,0314159 \text{ м}^2, \quad (7)$$

$$c = \frac{Q}{f} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}} = \frac{0,793492}{0,0314159} \cdot \sqrt{\frac{0,8}{2 \cdot 52,0055}} = 2,21513, \quad (8)$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 0,0314159 \cdot 2,21513^2}{0,793492} = 3,8854 \text{ с}, \quad (9)$$

$$W(p) = \frac{k}{T_p + 1} = \frac{1}{3,8854 \cdot p + 1}. \quad (10)$$

В данной математической модели предполагается, что переключение выполняется в результате сравнения относительных величин давления и расхода в линии, и, таким образом, при неблагоприятных условиях происходит переключение контуров стабилизации с давления на расход и обратно. На вход поступает уставка давления, которая преобразуется в расход. Данные значения поступают на контуры через селектор, в котором выполняется сравнение уставки входного и выходного давления. При рассогласовании этих значений селектор переключается с контура давления на контур расхода с целью компенсации ошибки.

В работе используются ПД-регуляторы с целью обеспечения переходной характеристики с минимальными колебаниями и перерегулированием. Передаточная функция ПД-регулятора имеет вид:

$$W_{\text{ПД}}(s) = K_p \cdot e(t) + K_d \cdot \frac{de}{dt}, \quad (11)$$

где $K_p = 1,2$ и $K_d = 0,9$ для ПД-регулятора контура давления, $K_p = 0,1$ и $K_d = 2$ для ПД-регулятора контура расхода – коэффициенты, полученные эмпирическим методом.

ПД-регулятор преобразует значение давления в токовый сигнал 4-20 мА, который затем преобразуется частотным преобразователем в значение частоты в Гц. Коэффициент передаточной функции частотного преобразователя определяется по формуле:

$$K_{\text{ЧП}} = \frac{\Delta f}{\Delta I} = \frac{50 - 0}{20 - 4} = \frac{50}{16} = 3,125 \frac{\text{Гц}}{\text{мА}}, \quad (12)$$

где Δf – диапазон частот в Гц, ΔI – диапазон для токового сигнала в мА. Постоянная времени при этом принимается равной 0,2 с.

Электрическое питание, управляемое частотным преобразователем, поступает на электродвигатель асинхронного типа и меняет значение его угловой скорости. Коэффициент передаточной функции электродвигателя определяется как:

$$K_{\text{ЭД}} = \frac{\omega_{\text{ЭД}}}{f} = \frac{4,71239}{50} = 0,0942478 \frac{\text{рад/с}}{\text{Гц}}, \quad (13)$$

где $\omega_{\text{ЭД}}$ – максимальная частота вращения вала электродвигателя в рад/с, f – максимальное значение частоты с частотного преобразователя в Гц. Постоянная времени в электродвигателе принимается равной 0,3 с.

Исходя из параметров выбранного регулирующего органа и времени полного открытия/закрытия клапана (5 секунд) его коэффициент передачи:

$$K_{\text{кл}} = \frac{100}{\omega_{\text{ЭД}} \cdot t} = \frac{100}{4,71239 \cdot 5} = \frac{100}{23,56195} = 4,24413 \% / \text{рад}. \quad (14)$$

Учитывая, что клапан можно подобрать (выбрать) с линейной характеристикой преобразования процента открытия в давление, рассчитаем данный коэффициент. Согласно техническим характеристикам, регулирующий клапан обеспечивает выходное давление газа $P_{\text{вых}} = 1,2$ МПа. Следовательно, на каждый процент открытия клапана будет приходиться значение давления:

$$K_{\text{по}} = \frac{P_{\text{вых}}}{100} = \frac{1,2}{100} = 0,012 \text{ МПа} / \% \quad (15)$$

Для начального этапа оценки возможностей такой схемы стабилизации поставки природного газа потребителю были выполнены Model In Loop (MIL) испытания предложенной схемы стабилизации с использованием модели в математическом пакете прикладных программ (рис. 2).

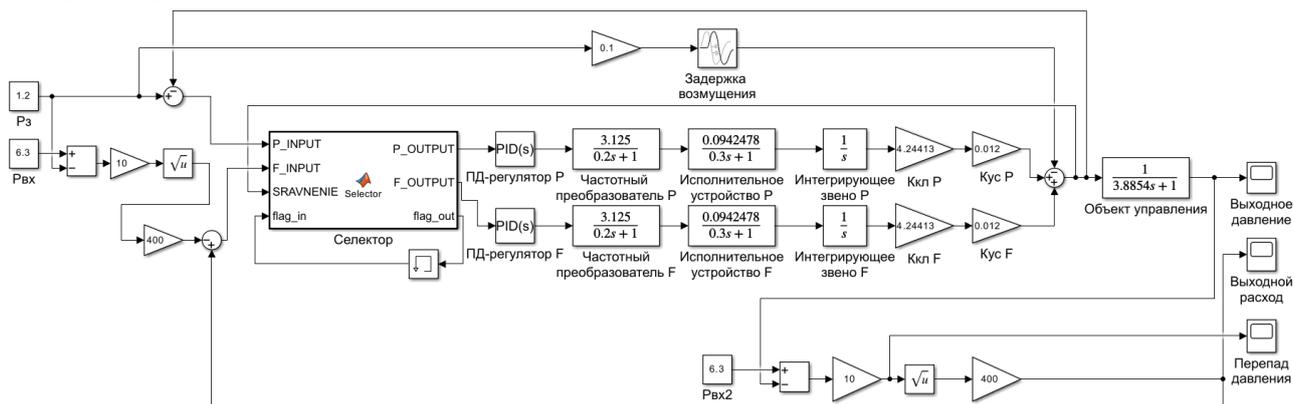


Рис. 2. Модель САУ ПРГ в математическом пакете прикладных программ

Поскольку главным возмущающим воздействием является изменение давления в газопроводе, была произведена проверка работы системы при скачкообразном снижении давления на 10% от заданного, то есть, 0,12 МПа. Снижение давления возможно, например, при кратковременном закрытии крана перед регулятором. При моделировании такой ситуации были получены переходные характеристики давления и расхода, представленные на рисунках 3 и 4 соответственно.

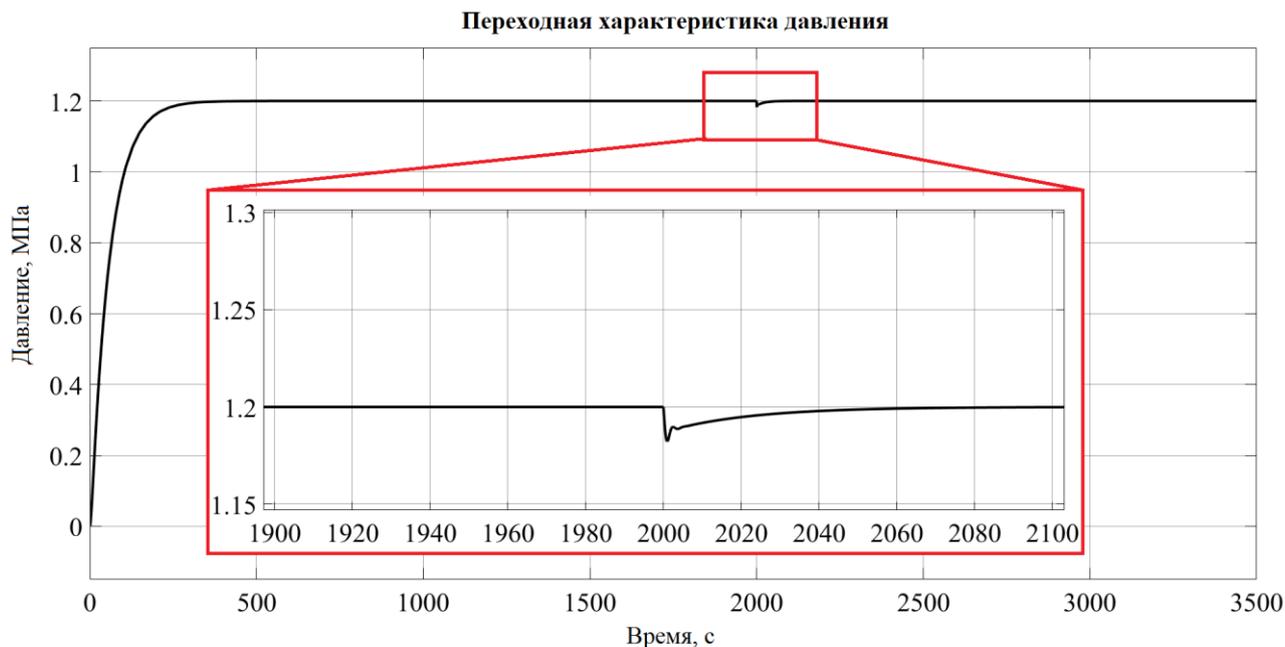


Рис. 3. Переходная характеристика давления при скачкообразном снижении давления

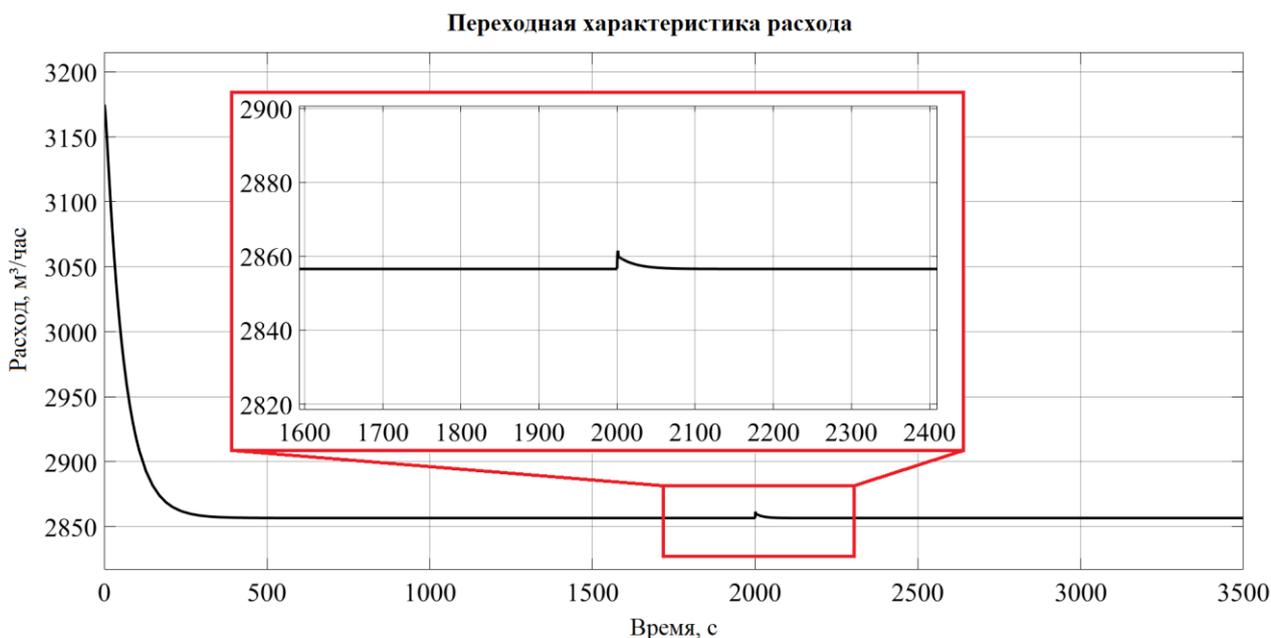


Рис. 4. Переходная характеристика расхода при скачкообразном снижении давления

Согласно полученным переходным характеристикам, давление и расход достигают установившегося значения в момент времени 457.995 с. После скачкообразного снижения давления в момент времени 2000 с происходит переключение контуров и давление возвращается к заданному за 45.128 с. Аналогичный процесс происходит и со значением выходного расхода газа.

Для упрощения, в следующей рассматриваемой ситуации с изменением давления представлена только переходная характеристика давления.

Далее была проанализирована обратная ситуация, возникшая при кратковременном закрытии выходного крана. В этом случае, было добавлено скачкообразное повышение давления на 10% от заданного, то есть, те же 0,12 МПа. При моделировании такой ситуации была получена переходная характеристика давления, представленная на рисунке 5.

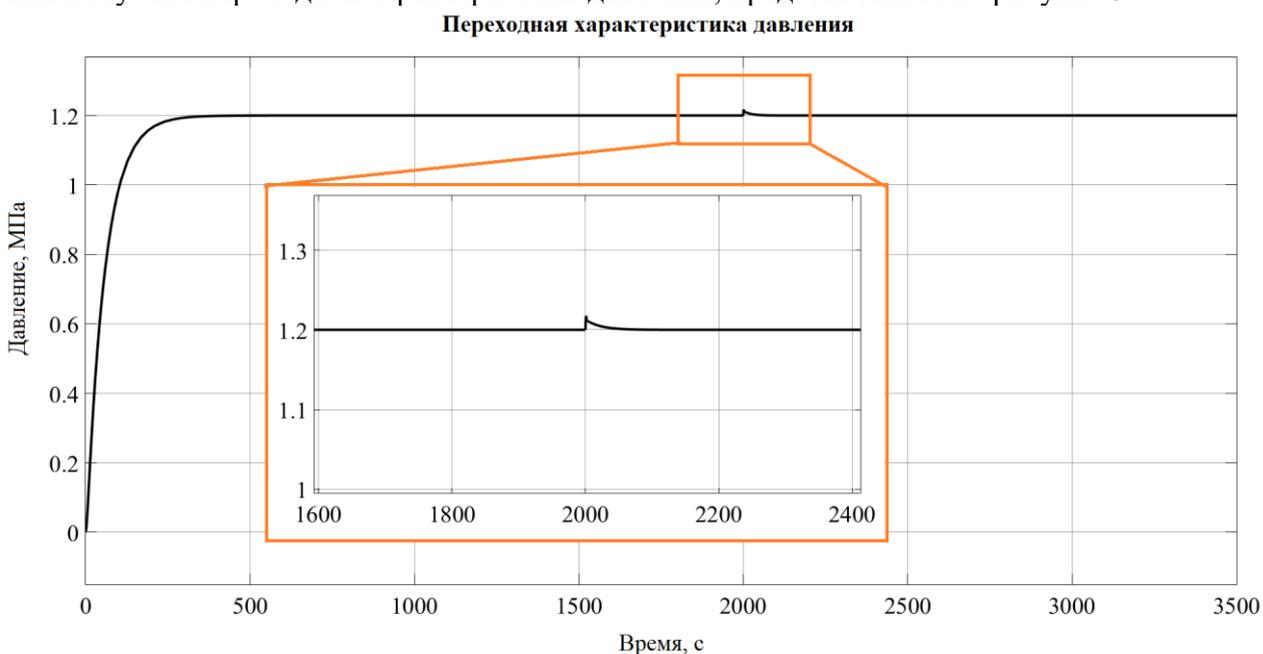


Рис. 5. Переходная характеристика давления при скачкообразном повышении давления

Как и в случае с понижением давления, при скачкообразном повышении давления происходит переключение контуров и давление возвращается к заданному приблизительно за такое же время 45.128 с.

Согласно полученным переходным характеристикам, перерегулирование в системе незначительно. Следовательно, можно сделать вывод о эффективности использования Override алгоритма для целей регулирования давления и расхода газа на блоке редуцирования газа в ГРС.

Заключение

В ходе выполнения работы был проведен обзор проблемы пунктов редуцирования газа, где была обозначена необходимость в модернизации пунктов редуцирования газа с использованием двух линий редуцирования и применением современных средств автоматизации. Была проведена разработка варианта САУ ПРГ с использованием переопределяющего метода с регулируемыми параметрами давления и расхода газа. Для этого варианта САУ ПРГ проведены моделирование и анализ работоспособности в математическом пакете прикладных программ.

В результате моделирования был получен переходный процесс с удовлетворительным качеством регулирования. Также была выполнена проверка реакции системы на возмущающие воздействия. По итогам МП испытаний сформирован вывод о корректности работы системы стабилизации.

Практическая ценность работы заключается в решении проблемы обеспечения стабильной поставки газа потребителям с поддержанием требуемых технологических параметров давления и расхода газа.

Предлагаемое решение по модернизации пунктов редуцирования газа может быть внедрено в энергетических компаниях на территории Российской Федерации. По результатам обсуждения работы на конференции будут продолжены исследования и дальнейшее совместное развитие предлагаемого варианта модернизации ПРГ со специалистами ООО «Газпром трансгаз Томск».

Список использованных источников

1. Васильев А.А. Основные проблемы эксплуатации пунктов редуцирования газа городов и населённых пунктов / Васильев А.А. // Символ науки. – 2020. – № 9. – С. 10-12.
2. Чурилин А.В. Пункты редуцирования газа: учебное пособие / А.В. Чурилин, Л.В. Демичева – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 92 с.
3. Override Control Functions // Instrumentation Tools. – 2024. – [Электронные ресурсы]. URL: instrumentationtools.com/override-control-functions/ (дата обращения 11.10.2024).
4. Комиссарчик В.Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов: учебное пособие / В.Ф. Комиссарчик – Тверь : Изд-во ФГБОУ ВО «ТвГТУ», 2001. – 204 с.