

ВВЕДЕНИЕ

В 2011 г. в журнале «Автоматизация в промышленности» (№ 10) рассматривались тенденции развития регулирующих клапанов. На тот момент были отмечены три важных направления в исследуемой области:

- 1) появление и широкое распространение интеллектуальных регулирующих клапанов;
- 2) расширение функций позиционера;
- 3) беспроводные решения.

Спустя 5 лет редакция журнала снова обратилась к авторам с просьбой проанализировать состояние развития регулирующих клапанов. Представленные в настоящем номере статьи и информационные материалы подтверждают, что последнее 5-летие — период интенсивного развития и расширения указанных тенденций. Рассмотрим эти тенденции подробнее.

Интеллектуальный регулирующий клапан — это клапан, снабженный интеллектуальным позиционером (смарт-позиционером). Такой тип позиционеров называют также цифровым. В настоящее время все большее число фирм, специализирующихся на данной предметной области, выпускают смарт-позиционеры. При этом, как правило, те же фирмы выпускают и аналоговые электропневматические позиционеры. Выбор типа позиционера остается за заказчиком. Естественно, что этот выбор зависит от типа системы автоматического регулирования. Текущий временной период характеризуется постепенной заменой аналоговых позиционеров на смарт-позиционеры.

Расширение функций позиционера (относится к смарт-позиционеру) — это добавление функций контроллера и преобразователя. Позиционер перестает быть просто позиционером. Некоторые фирмы называют его «цифровым контроллером клапана». В настоящее время ведущие мировые производители включают в линейки своей продукции различные модификации позиционеров, отличающиеся набором доступных функций. В качестве примера в журнале представлены четыре типа смарт-позиционеров SVI, характеризующиеся различными областями применения, функциональностью, типами клапана и видами коммуникаций.

И, наконец, третья тенденция — это применение беспроводных технологий. В качестве примера в журнале приводится беспроводное решение для регулирующих клапанов от фирмы Эмерсон.

Кроме того, в журнале представлены мнения специалистов — производителей и пользователей регулирующих клапанов. Респонденты комментируют ситуации, связанные с различными неблагоприятными обстоятельствами, возникающими при вводе регулирующего клапана в эксплуатацию. Такие ситуации весьма распространены на практике и потому вызывают особый интерес у инженеров. Также специалисты высказали предположения о перспективах развития позиционеров.

Редакция выражает благодарность за помощь в подготовке номера Юрию Яковлевичу Казинеру — канд. техн. наук, независимому эксперту.

МНЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТА: О СИТУАЦИЯХ, КОГДА РЕГУЛИРУЮЩИЙ КЛАПАН НЕ ОТВЕЧАЕТ ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫМ ТРЕБОВАНИЯМ

Журнал «Автоматизация в промышленности»

Сформулированы возможные неблагоприятные ситуации, встречающиеся после установки регулирующего клапана. Приведены рекомендации экспертов по нормализации работы системы автоматизации.

Ключевые слова: регулирующий орган, исполнительный механизм, позиционер, беспроводные технологии, самонастройка, диагностика, модульность.

Клапан в сборке (регулирующий орган, исполнительный механизм, позиционер, указатель положения и прочее навесное оборудование) становится все сложнее. Известны случаи, когда регулирующий клапан приобретает новые функции, а именно функции контроллера и измерительного преобразователя. Соответственно стоимость такого клапана существенно увеличивается. Поэтому очень важно правильно выбрать размер клапана или его характеристики.

Укажем две распространенные ошибки в процессе расчета и выбора регулирующего клапана: ошибка при выборе перепада давления, который имеет место

при максимальном расходе, и ошибка при выборе пропускной характеристики.

Ошибка при определении перепада давления на регулирующем клапане при максимальном расходе довольно часто объясняется формой опросного листа. Форма должна быть такой, чтобы у заказчика не возникало сомнений. В качестве примера может быть выбрана форма, представленная в виде таблицы.

Ошибка при выборе пропускной характеристики чаще всего заключается в том, что выбирается линейная пропускная характеристика вместо равнопроцентной. Хотя известно, что в большинстве случаев

Таблица. Форма опросного листа

Параметр	Размерность соответствующего параметр	Режим максимального расхода	Режим нормального расхода	Режим минимального расхода
Расход				
Давление на входе клапана				
Давление на выходе клапана				

именно равнопроцентная пропускная характеристика является предпочтительной.

И все же после установки регулирующего клапана на рабочее место могут возникнуть различные неблагоприятные обстоятельства, например:

- 1) клапан завышен по размеру. Он работает в положении близ полного закрытия;
- 2) пропускная способность клапана недостаточна. Он не пропускает нужного количества жидкости;
- 3) клапан совершает колебательные движения;
- 4) регулирующий клапан не обеспечивает требуемый динамический диапазон по расходу;
- 5) высокий уровень кавитации или шума.

Прокомментировать сложившуюся ситуацию редакция попросила ведущих специалистов фирм производителей и пользователей данного типа продукции.

Что делать в такой неблагоприятной ситуации: уже установленный регулирующий клапан не отвечает предъявляемым требованиям? Что можно здесь заранее предвидеть? Какие еще «инструменты» возможно применить в подобных случаях? На эти и некоторые другие вопросы отвечают эксперты номера:

Автономов Юрий Николаевич — менеджер по продукции Fisher компании Эмерсон;

Антонов Алексей Николаевич — начальник сервисной службы ООО «Простор-Автоматика»;

Городнев Роман Вячеславович — начальник отдела цифровой техники ЗАО «ДС Контролз»;

Поразочко Владимир Николаевич — главный метролог АО «Ангарская нефтехимическая компания»;

Городнев Р. В. По предложенной к обсуждению ситуации можно сделать ряд рекомендаций и комментариев.

1. Изменение пропускной характеристики затвора, например, с линейной на равнопроцентную, использование зауженных седел в некоторых случаях может быть выходом из сложившейся неблагоприятной ситуации.

2. Нужно помнить, что применение пассивных элементов (дросселирующие отверстия во втулке, дроссельная шайба или перфорированный диск) не всегда позволяет бороться с кавитацией и шумом во всем рабочем диапазоне и такие решения обычно используются только на позициях, у которых скорости рабочей среды очень близки для всех возможных значений технологических параметров.

3. При расчете размера и параметров клапана проблемы начинаются там, где параметры режимов определяются «на глазок», когда технологи, проектирую-

щие установку, заявляют следующее: «Мне нужен минимальный перепад на данной позиции, минимальное сопротивление потоку, минимальное гидравлическое сопротивление и т.п.», и записывают исходные данные в опросной лист, исходя из такого своего предубеждения. Нужно помнить, что только расчет всех режимов с учетом расходной характеристики насоса/компрессора, геометрии трубопровода и элементов,

дающих падение давления, может хоть насколько-то гарантировать картину, близкую к реальности. Даже на работающей установке, как правило, приходится делать такие расчеты, так как в большинстве случаев нет датчиков давления и расходомеров в тех точках трубопровода, которые необходимы для корректного расчета и выбора регулирующих клапанов. Такие ошибки в проектировании являются следствием непонимания отличия регулирующей трубопроводной арматуры от запорной. Ведь если для запорной арматуры гидравлические потери даются для полностью открытого положения, и являются константой для каждой модели клапана, то регулирующая арматура создана для управления гидравлическими потерями в очень широком диапазоне.

4. Рассмотрим пример. Имеем компрессор с давлением на выходе в рабочем режиме $P_k=2,7$ МПа. Далее установлен регулирующий клапан, после которого вверх идет труба $L=100$ м, которая подает рабочую среду с плотностью $0,5$ г/см³ в колонну, где необходимо поддерживать давление $P_r=2$ МПа. Вопрос: какие значения давления должны быть указаны в опросном листе для выбора регулирующего клапана? Если предположить, что в большинстве проектов будут указаны $P_{вх}=2,7$ МПа, $P_{вых}=2,5$ МПа ($P_{вых} \sim P_k - L \cdot 0,5/10$), то вы ошибаетесь. $P_{вых}$ может быть и $2,69$ МПа, так как технолог учитывает «минимальный перепад давления в $0,01$ МПа». В итоге клапан будет рассчитан на перепад $0,01$ МПа, а по факту будет работать на перепаде $0,2$ МПа. Самое интересное, что в некоторых случаях клапан, выбранный с учетом таких ошибочных исходных данных, будет работать, так как каждый типоразмер привода клапана обычно закрывает широкий диапазон по мощности, и в отдельных случаях мощности установленного привода будет достаточно для работы на перепаде $0,2$ МПа. При этом изначальная характеристика регулирования клапана $1:100$ оставляет нам возможность уменьшить пропускную способность в разы и при этом держать клапан на разумной степени открытия. Но в большинстве таких случаев мы либо получим клапан открытый на $1...5\%$, либо клапан, который не сможет работать при перепаде $0,2$ МПа из-за недостаточной мощности привода.

5. При выборе регулирующих клапанов следует по возможности стараться, чтобы все требуемые режимы укладывались в диапазон $30...60\%$ открытия арматуры. Это позволит иметь запас по пропускной

способности в обе стороны.

Поразочко В. Н. Рассмотрим ряд причин, по которым установленный клапан работает неудовлетворительно, и предложим варианты решения данных проблем.

1. *Клапан завышен по размеру и работает в положении близ полного закрытия.* Данная проблема наиболее легко решается, все производители имеют плунжерные пары с уменьшенным значением условной пропускной способности K_{vu} . Последний легко определяется по величине открытия клапана, далее покупается и устанавливается новая дроссельная пара. Обычно такие клапаны без проблем отработают несколько лет, что позволяет заказать нужную пару и заменить. Обычно при сомнениях по точности расхода и перепада на клапане выбирается клапан на один типоразмер меньше условного диаметра трубы с максимальным или средним значением K_{vu} , но не в коем случае не минимальным. Это незначительно увеличивает цену, но позволяет обеспечить работу схемы регулирования с минимальными затратами. В данном случае нужно внимательно анализировать перепад на клапане.

2. *Пропускная способность клапана недостаточна.* Он не пропускает нужного количества жидкости. Это худший вариант. Были случаи, когда изготавливали дроссельные пары с максимально возможным значением K_{vu} , превышающим заводской. Открытием байпаса на клапане выводили клапан в зону регулирования. Но все это временные меры. Необходима замена клапана.

3. *Клапан совершает колебательные движения.* Если позиционер и обвязка клапана исправны, то причина, скорее всего, в неправильно рассчитанном приводе или исходных данных по давлению питания воздуха. Обычно это устраняется увеличением числа пружин или их жесткости. Второй вариант — замена на привод с большей площадью мембраны. Проблема чаще всего встречается на клапанах с большим условным диаметром и не разгруженных.

4. *Регулирующий клапан не обеспечивает нужного диапазона измерения расхода.* Перерасчет K_{vu} с правильными исходными данными. Замена дроссельной пары.

5. *Высокий уровень кавитации.* Выполняется расчет с правильными исходными данными. Дроссельная пара меняется на специальную антикавитационную, или же клапан меняется на антикавитационный. Как временная мера — частичное понижение перепада прикрытием задвижек на входе/выходе. В наличии должен быть клапан специального исполнения — антикавитационный. Нужно понимать, что кавитация очень быстро разрушит дроссельную пару и возможно корпус клапана.

6. *Высокий уровень шума.* Это практически всегда связано с неправильно рассчитанным клапаном по разным причинам, в том числе и с неправильными исходными данными. Отечественные поставщики изначально предлагают более простые клапаны. А зарубежные поставщики выполняют расчет клапа-

нов при помощи ПО, и в случае ошибочных входных данных программа не дает возможности предложить заказчику конструкцию клапана с повышенным шумом. Выход из ситуации — новый клапан или замена плунжерной пары.

7. *Предложения по опросному листу* правильные, в наших опросных листах перепад давления задается именно так. У нас обязательными являются еще следующие данные: продукт, температура, давление. Указывается также минимальное давление питания воздуха, которое гарантированно не может быть меньше; поставщик рассчитывает приводы именно на это давление.

Антонов А. Н. Действительно, неудовлетворительная работа поставленного на объект регулирующего клапана — это проблема. И, конечно, важно установить причину.

1. Прежде всего, нужно выяснить, соответствуют ли данные по давлению на входе/выходе клапана реальным значениям. При заказе регулирующего клапана мы требуем, чтобы эти данные заказчик представлял именно в той форме, которая представлена в таблице. Это исключает ошибку при выборе клапана из-за неправильного определения перепада давления регулирующего органа при максимальном расходе. По данным этой таблицы можно судить об их правильности. Если оказывается, что данные по давлению, представленные заказчиком, неправильные, то заказчик возвращает регулирующий клапан обратно для исправления.

2. Иногда представляется возможным заранее судить об исходных данных для расчета пропускной способности регулирующего клапана. Сомнительны ли они? Если так, то заказчику предлагается поставка регулирующего клапана с комплектом запасных затворов или дроссельных пар (затвора и седла). Первый вариант, конечно, предпочтителен. Кроме того, в этих случаях мы предусматриваем больший, чем обычно, коэффициент запаса при расчете пропускной способности (с соответствующим изменением пропускной характеристики).

3. Иногда решение проблемы — изменение пропускной характеристики регулирующего клапана. Для нас предпочтительная пропускная характеристика, как правило, равнопроцентная. В некоторых случаях решение проблемы — применение характеристики повышенного диапазона регулирования. Если заказчик заказывает линейную пропускную характеристику, то нужна проверка.

4. Еще одна проблема при течении жидкости — кавитация. Иногда заказчик предполагает наличие кавитации, иногда это выясняется при расчете клапана. Один из способов снижения уровня кавитации — это применение дополнительных каскадов дросселирования. В ООО «Простор-Автоматика» основной тип клапана — клеточно-плунжерный. Для этой конструкции могут быть выполнены два дополнительных

каскада (кроме главного каскада в дроссельной паре): отверстия в клетке и дроссельная шайба или перфорированный диск на выходе клапана. При этом расчет регулирующего клапана производится так: на дроссельной паре остается бескавитационный перепад давления, остальной перепад рассеивается на последующем каскаде (или последующих каскадах). Этот способ подавления кавитации или снижения ее уровня широко применяется в изделиях фирмы.

5. Аналогичным образом решается проблема шума при течении газа. Снижение уровня шума может потребовать заказчик. Один из способов снижения уровня шума — это установка последовательно с дроссельной парой (после нее) дополнительных каскадов. На регулирующем органе обеспечивается докритический перепад давления, а остальной перепад рассеивается на дополнительном каскаде (или дополнительных каскадах).

6. Успешное применение регулирующих клапанов с дополнительными каскадами (для жидкости и для газа) показало пользу этого метода для снижения уровня кавитации или уровня шума. Более 60 раз мы успешно применили этот метод.

7. Довольно часто мы встречаемся с проблемой нехватки места для установки клапанов на трубопровод в вертикальном положении. В этой ситуации мы готовы идти навстречу заказчику и помочь в решении данной проблемы всеми силами, согласовав с конструкторским отделом все возможности без доработки дроссельной пары или же с ее незначительными изменениями. После согласования мы даем разрешение на установку клапана под углом 45° или же в горизонтальном положении.

Автономов Ю. Н. Затронуты очень актуальные вопросы эксплуатации регулирующей арматуры. Сталкиваясь с подобными проблемами, прежде чем давать какие-либо рекомендации, всегда необходимо перепроверить исходное техническое задание, параметры и расчеты, чтобы выявить причину неудовлетворительной работы клапана. Начнем с самого начала, то есть с процесса расчета регулирующего клапана.

Основой работы инженера по расчету регулирующей арматуры является опросный лист или спецификация, которые предоставляет производителю заказчик и/или проектная организация. Правильно заполненный опросный лист — это фундамент правильной работы регулирующего клапана и отсутствия проблем при эксплуатации. Здесь возможны два варианта неверного выбора клапана — некорректные данные при проектировании и изменение рабочих условий после ввода установки в эксплуатацию, например, после модернизации. Как известно, базовое уравнение для расчета пропускной способности содержит всего несколько переменных — плотность среды, расход через клапан и давление на входе/выходе клапана. Именно поэтому очень важно правильно

указать эти параметры, без которых невозможен даже предварительный расчет. Отсутствие этих данных в лучшем случае приведет к обсуждению и уточнению параметров с автором опросного листа, а в худшем вынудит инженера «предполагать» возможные условия. В ряде случаев использование базового уравнения для расчета пропускной способности приводит к результатам, заниженным в два раза. На самом деле полное уравнение расчета пропускной способности учитывает множество различных поправок, таких как геометрия клапана, давление в точке максимального сужения потока, давление насыщенных паров, влияние конических переходов и т. д., поэтому чем больше данных указано в опросном листе, тем лучше будет рассчитан и подобран клапан.

Одна из основных ошибок при заполнении опросного листа — это задание рабочих параметров «с запасом, на всякий случай», причем одни параметры занижаются (например, давление воздуха КИП), а другие завышаются. Такой подход неблагоприятно сказывается как на повышении стоимости, вследствие необходимости использования дополнительных технических решений, так и на неудовлетворительной работе оборудования при эксплуатации.

Наиболее часто встречающаяся ошибка при заказе клапана — завышение пропускной способности и, как обычное следствие, завышение номинального диаметра. В этом случае клапан, пытаясь обеспечить заданный расход, дросселирует поток вблизи седла. В результате высоких скоростей в потоке возникает кавитация, которой не было бы, если клапан работал в нормальном диапазоне. На рисунке представлен стеллитированный плунжер бесклеточного клапана, разрушенный кавитацией именно по причине завышения пропускной способности. В данном случае это иллюстрация «настойчивости» проектной организации, отказавшейся принимать во внимание объяснения и рекомендации инженера компании-производителя и настоявшей на собственном решении. После замены установленного клапана DN40 на DN25 проблема исчезла.

Однако не всегда требуется менять целиком установленный клапан большего размера, если он



Повреждение плунжера кавитацией при регулировании близко к седлу

не может обеспечить минимальный расход. В определенных случаях достаточно заменить пару плунжер-седло, так как именно эти два элемента обеспечивают собственную характеристику клапана и диапазон пропускной способности. Так, например, в клапанах Fisher GX используются седла и плунжеры, которые можно устанавливать в корпуса клапанов разного размера. Например, седло и плунжер с проходным портом 22 мм можно установить в корпус DN25, 40 и 50. Также в клапанах Fisher серии easy-e™ комплект внутренних деталей (так называемый трим) можно заменить на трим с зауженным портом.

Если с предыдущей проблемой можно справиться относительно «малой кровью», то если пропускной способности клапана недостаточно, решение только одно — замена клапана. Однако в этом случае также есть варианты, так как увеличить пропускную способность можно не только используя клапан большего условного диаметра. Если проблема с клапаном проходного типа, то можно рассмотреть замену на поворотный клапан¹ с шаровым сегментом. При одном и том же диаметре пропускная способность поворотных клапанов вследствие их геометрии существенно выше, а также больше диапазон перестройки. Если диапазон регулирующих клапанов проходного типа с равнопроцентной характеристикой составляет 1:50 в лучшем случае, то для поворотных сегментных не менее 1:100. Таким образом можно избежать сварочных работ по изменению трубопровода. При такой замене необходимо помнить, что регулирующая арматура поворотной конструкции (шаровые сегменты и дисковые затворы) существенно выше подвержена риску возникновения кавитации при работе с жидкостями.

Нестабильность регулирования, а именно частые колебательные движения вблизи задания, могут быть вызваны двумя причинами — это высокий коэффициент передачи регулирующего контура в целом или избыточно чувствительная настройка позиционера.

Первая причина часто возникает при использовании для регулирования технологического потока дисковых затворов. Это связано с тем, что реально используемый диапазон регулирования дисковых затворов лежит между 25% и 50% открытия с учетом коэффициента передачи установленного контура от 0,5 до 2 (подробнее см. в статье «Fisher Control-Disk — дисковый затвор с собственной равнопроцентной характеристикой»). При регулировании малых расходов небольшое изменение положения диска приводит к значительному изменению расхода через клапан, и наоборот, при повороте диска на больших углах происходит незначительное изменение расхода.

В результате в установленном контуре могут возникать осцилляции, так как система не может занять устойчивое положение. Для выхода из такой ситуации можно рекомендовать замену обычного поворотного затвора на затвор Fisher Control-Disk, обладающий собственной равнопроцентной характеристикой и большим диапазоном регулирования в тех же условиях.

Нестабильность, вызванная второй причиной, устраняется гораздо проще, так как требует только тщательной настройки позиционера. При использовании интеллектуальных позиционеров Fisher FIELDVUE серий DVC6200 и DVC2000 выполнить такую настройку особенно просто. В памяти этих позиционеров находятся 11 готовых наборов переменных встроенного ПИД-регулятора, а также есть возможность задания своего набора пользовательских переменных. Выбирая тот или иной набор настроек легко добиться стабильной работы клапана при дроселировании вокруг задания или, наоборот, ускорить отклик на изменение задания, если клапан работает слишком медленно. Настройка позиционера таким способом занимает не более 5 мин.

Шум и кавитация — это отдельные темы для обсуждения. Конечно же оба этих эффекта лучше «ловить» на стадии расчета, так как это требует специальных технических решений — антишумовой или антикавитационной конструкции трима клапана. Тем не менее, варианты решения этой проблемы есть.

Часто встречающееся мнение, что «сегментный клапан — лучшее решение на все случаи жизни», довольно ошибочно. Несмотря на многие преимущества, как то пропускная способность и диапазон перестройки, сегментные клапаны, вследствие своей геометрии, больше подвержены кавитации. Таким образом, если проблема кавитации возникла на сегментном клапане, то вполне вероятно, что замена на простой (без специального трима) проходной клапан решит проблему. Безусловно, это требует проверки и нового расчета. То же можно сказать и про аэродинамический шум.

Если же проблема возникла на проходном клапане, то как вариант решения проблемы — замена стандартного трима на антикавитационный или антишумовой, если сам корпус клапана не разрушен в случае кавитации. В этом случае также требуется тщательная проверка пропускной способности, так как тримы, предназначенные для борьбы с шумом и кавитацией, имеют, как правило, меньшую пропускную способность.

Редакция выражает благодарность нашим экспертам Автономову Ю. Н., Антонову А. Н., Городневу Р. В. и Поразочко В. Н. за предоставленные материалы.

Контактный телефон редакции (495) 334-91-30.

¹ В соответствии с ГОСТ Р 52720-2007 «Арматура трубопроводная. Термины и определения» арматуру такой конструкции, с поворотным шаровым сегментом в качестве регулирующего органа, правильнее называть «краном», однако по устоявшейся традиции применяется понятие «сегментный клапан» или «клапан с шаровым сегментом».