

ровым и идет по резервированной коммуникационной линии. Для традиционных нормирующих преобразователей сигнал от/к системе ПАЗ идет нерезервированным аналоговым или дискретным сигналом.

2. Модули CHARM имеют встроенную диагностику внутренних и внешних цепей, которая видна на экране и в архиве диагностики АСУТП. Таким образом, практически для всех внешних цепей доступна диагностика обрыва, короткого замыкания, рассогласования токового сигнала и параметров, передаваемых по цифровому протоколу HART. Для внешних нормирующих преобразователей доступ к их внутренней диагностике из АСУТП невозможен.

3. Для модулей CHARM внутрисистемные проводные межшкафные соединения отсутствуют в отличие от традиционной подсистемы ввода-вывода.

Возможный отказ модуля CHARM диагностируется системой и локализуется на уровне одного канала с возможностью замены модуля без останова ТП.

По результатам расчета на примере АСУТП на 1656 параметров ввода/вывода средняя наработка на отказ (MTBF) АСУТП с электронной кроссировкой в 3 раза выше по сравнению с традиционной АСУТП с резервированной подсистемой ввода/вывода.

Таблица. Результаты расчета контура

	SIL	PFDavg	RRF
DeltaV SIS	3	4.49E-04	2229
DeltaV SIS с электронной кроссировкой	3	3.93E-04	2542

### Заключение

Применение технологии электронной кроссировки позволяет нивелировать влияние качества исходных данных на процесс проектирования и повысить адаптивность к поздним изменениям, дает

возможность одновременно повысить надежность и сократить число тяжелых полевых кабелей, уменьшить площадь, занимаемую системой, повысить диагностическое покрытие системы за счет исключения внешних нормирующих преобразователей и обеспечить снижение стоимости обслуживания в силу меньшего числа компонентов и номенклатуры ЗИП. При этом система на базе электронной кроссировки включает все самое лучшее от классической системы ПАЗ DeltaV SIS [2].

С 2012 г. по всему миру свыше 60 установок химической, нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей и других отраслей находятся под защитой системы ПАЗ DeltaV SIS CHARM от Эмерсон, где применено более 20 тыс. модулей CHARM.

### Список литературы

1. Некрасов С.И., Некрасова Н.А. Философия науки и техники. 2010.
2. Выблый А.Ю. Инструментальная система безопасности DeltaV SIS // Автоматизация в промышленности. 2012. №6.

*Паршин Андрей Дмитриевич* — консультант по применению систем автоматизации,  
*Кирюшин Павел Николаевич* — эксперт по системам ПАЗ компании Эмерсон, TUV FS Eng 1633/09.  
 Контактный телефон +7(495)995-95-59.  
 E-mail: Pavel.Kiryushin@Emerson.com

## АНТИПОМПАЖНЫЕ КЛАПАНЫ FISHER В СИСТЕМАХ АНТИПОМПАЖНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И ЗАЩИТЫ КОМПРЕССОРОВ

Ю.Н. Автономов (Компания Эмерсон)

*Рассматриваются технические особенности конструкций, связанные с проектированием и производством антипомпажных клапанов, а также методические подходы к тестированию и настройке на примере антипомпажного регулирующего клапана Fisher.*

*Ключевые слова: антипомпажный клапан, система антипомпажного регулирования и защиты (САРiЗ) компрессоров.*

Компрессоры используются на многих производствах, при этом они могут быть основой всего производства в целом, например, на заводах производства сжиженного природного газа (СПГ) или производства этилена. Именно поэтому при запуске и эксплуатации компрессора основное место занимает надежная система его защиты от помпажа. Этот быстропотекающий процесс с высокой энергией способен полностью вывести из строя компрессор за короткое время [1, 2].

С одной стороны, для предотвращения помпажа компрессор должен работать в зоне, далекой от границы возникновения помпажа, но тогда полные возможности компрессора остаются нереализованными. Максимальное приближение рабочих характеристик

к точке помпажа увеличивает производительность компрессора и прибыльность производства. Задача управления компрессором в заданных границах становится особенно сложной на многоступенчатых компрессорах или при работе нескольких компрессоров параллельно.

Для максимального увеличения эффективности с учетом предотвращения помпажа интегрированная система управления применяет улучшенные алгоритмы с использованием техники открытых и замкнутых контуров. Для многоступенчатых компрессоров динамическая развязка между ступенями чрезвычайно важна для равномерного функционирования. На многоступенчатом компрессоре открытие



Рис. 1. Ротор компрессора в результате воздействия помпажа

антипомпажного клапана на ступени низкого давления уменьшит поток к ступеням высокого давления и тем самым подтолкнет их к помпажу. Поэтому для предотвращения помпажа на ступенях высокого давления клапаны вокруг каждой ступени должны открываться одновременно, каждый на определенную величину для стабилизации взаимодействующих антипомпажных контуров. Таким образом роль регулирующих клапанов в этой задаче становится критической. Здесь требуется быстрое реагирование и четкая управляемость для уверенности в том, что функции управления обеспечиваются должным образом, а также предотвращается взаимодействие ступеней компрессора. Все это требует функционирования регулирующих клапанов вне традиционных рамок. Важно, чтобы антипомпажный клапан мог обеспечить безопасную поддержку рабочего режима на максимально близком расстоянии к границе помпажа.

Основой всей системы антипомпажной защиты является быстродействующий интеллектуальный контроллер. Однако эффективность быстрой и точной работы контроллера может быть сведена к нулю, если антипомпажные клапаны работают недостаточно быстро или неточно. Согласно статистическим данным, полученным проектной компанией OREDA<sup>1</sup> за период 2000-2009 гг. [1], большая часть отказов в любых современных системах управления приходится на механические исполнительные механизмы (около 50%), вероятность отказов контроллеров во много раз меньше (< 8%). Поэтому от качества работы и надежности регулирующего антипомпажного клапана зависит эффективная работа компрессорной установки в целом и ее надежность (рис. 1).

Помпаж характеризуется быстрыми переходными процессами, поэтому антипомпажный клапан должен открываться быстро. По этой причине при проектировании системы управления компрессором традиционно предъявляется только одно стандартное требование к антипомпажному клапану — скорость перехода из полностью закрытого в полностью открытое положение (полный ход) и не учитываются

все особенности работы такого клапана. От антипомпажного клапана требуется в большей степени именно регулирование потока, а это требует не только быстрого полного хода, но также и способности реагировать на небольшие изменения уставки быстро и точно.

Компрессор — один из наиболее дорогостоящих производственных активов. По этой причине разработчики клапанов Fisher установили целый ряд своих собственных требований, которым должен удовлетворять современный антипомпажный клапан. Эти критерии сведены в две спецификации — «Методика испытаний производительности антипомпажного клапана на заводе» (FGS4L11) и «Методика испытаний производительности антипомпажного клапана на месте установки» (FGS4L12). По этим методикам оцениваются статические и динамические характеристики клапана и качество управления им.

#### Основные критерии, которым должен удовлетворять антипомпажный клапан

*Критерии асимметрии динамики* задают ограничения по времени срабатывания при управлении с помощью позиционера и соленоида, а также в зависимости от направления хода. При асимметрии в зависимости от направления движения может оказаться сложно настроить позиционер, чтобы получить желаемую реакцию системы.

- Время полного хода открывания при управлении позиционером и ступенчатом изменении сигнала с 20 до 4 мА —  $\leq 2$  с.
- Время полного хода закрывания при управлении позиционером и ступенчатом изменении сигнала с 4 до 20 мА —  $\leq 3$  с.
- Время полного хода при открывании соленоидом —  $< 1$  с.

*Критерий отклика на большое изменение управляющего сигнала* не является традиционным для антипомпажных клапанов. Когда компрессор оказывается на границе помпажа, или помпаж только начался, алгоритм работы контроллера потребует быстро открыть клапан и вернуть компрессор в стабильную точку. Этот тест, который начинается с базовой линии в 10% полного хода, используется для гарантии того, что отклик будет быстрым в обоих направлениях, и не возникнет неожиданных сюрпризов в результате переходных процессов во время быстрого движения клапана.

- Отклик на большой сигнал с шагом 10, 20...80% от базовой линии в 10%  $\leq 1$  импульса перерегулирования с максимальной амплитудой  $\leq 3\%$  на каждый шаг.
- Движение штока в ответ на изменяющийся сигнал 20%/мин в диапазоне 4...20 мА и обратно — плавно без рывков.
- Движение клапана в ответ на синусоидальное изменение управляющего сигнала в 1% от базовой линии 5% и 50% — клапан должен двигаться в обе стороны.

<sup>1</sup> OREDA является проектной организацией при поддержке восьми глобальных нефтегазовых компаний. Основная задача OREDA состоит в сборе и обмене данными о надежности оборудования среди компаний-участниц.

- Линейность полного хода (измеряется отдельным датчиком) —  $\leq \pm 1\%$
- Максимальное изменение управляющего сигнала для страгивания с седла и начала движения —  $\leq \pm 2\%$ .

Тест на частотный отклик стандартен для расчета характеристик позиционера и обычно выполняется еще на стадии разработки устройства.

- Частотный отклик на синусоидальный сигнал с изменяющейся частотой и амплитудой 10% относительно базовой линии 50% — ход должен быть непрерывным и без резонансных пиков и провалов.

Этот тест не требуется, когда устройство запущено в производство. Однако многие антипомпажные клапаны, особенно большого размера, собираются и конфигурируются с набором пневматических устройств, типа соленоидов и объемных бустеров, которые привносят свою динамику в систему. Тест на частотный отклик, при котором используется синусоидальный сигнал изменяющейся частоты, обычно помогает количественно оценить устойчивость динамики и выявить детали характеристики, которые нельзя получить с помощью теста на ступенчатое изменение сигнала. Амплитуда сигнала выбрана таким образом, чтобы все устройства обвязки были гарантированно задействованы (рис. 2).

Для удовлетворения всем этим требованиям был разработан оптимизированный антипомпажный регулирующий клапан Fisher. Благодаря более чем 130-летнему опыту работы в области производства клапанов и управления ТП удалось объединить все составные части регулирующего клапана — сам клапан, привод, цифровой контроллер клапана FIELDVUE™ и компоненты пневматической обвязки в единую высокоэффективную антипомпажную конструкцию.

#### Конструктивные элементы антипомпажного регулирующего клапана Fisher

##### Клапан

Клапан должен обладать большой пропускной способностью (в соответствии с характеристиками компрессора) и минимальным уровнем шума при максимальном расходе через клапан. В антипомпажных клапанах Fisher используется полностью разгруженный плунжер. Такая конструкция позволяет избежать воздействия на сам плунжер резких скачков давления в клапане, а также снизить вибрации при большом потоке и работе на малых процентах открытия, то есть вблизи седла.

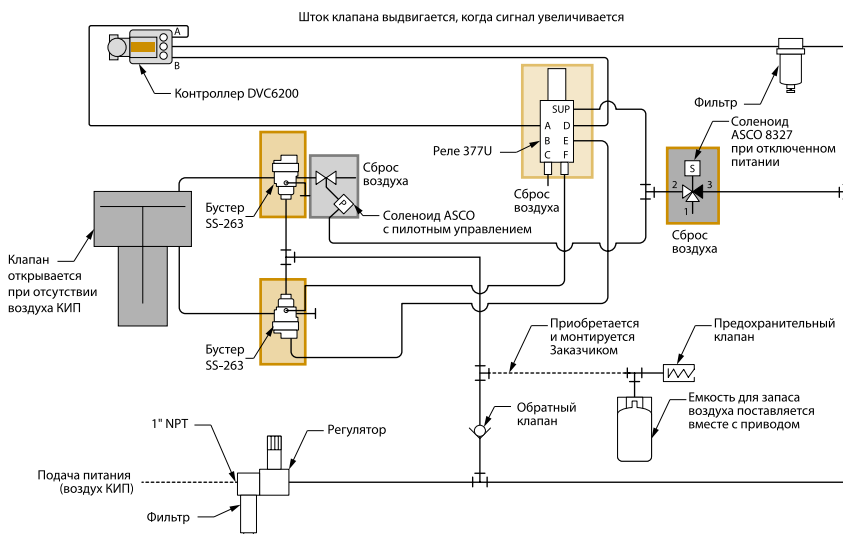


Рис. 2. Схема пневматической обвязки оптимизированного антипомпажного клапана Fisher

Главным преимуществом антипомпажных клапанов Fisher является антишумовая клетка WhisperFlo® (рис. 3). Запатентованная в 1998 г. конструкция остается лучшим антишумовым решением на рынке до сегодняшнего дня, обеспечивая снижение уровня шума на 40 дБА. Конструктивно клетка выполнена из набора пластин, собранных в определенном порядке, в которых с помощью плазменной резки сформированы каналы специальной формы, разделяющие основной поток на множество отдельных, не взаимодействующих между собой струй. Клетки WhisperFlo® эффективно работают даже при соотношениях давлений  $\Delta P/P_1 \geq 0,9$ .

В зависимости от характеристик компрессора могут применяться антишумовые клетки других конструкций — Whisper® III и Whisper® I с меньшим коэффициентом ослабления шума.

##### Привод

Использование эффективных антишумовых клеток при сохранении большой пропускной способности требует перемещения плунжера в большем диапазоне, то есть требуется привод, обеспечивающий ход до 600 мм и более. Во всем диапазоне хода требуется точное перемещение с высокой скоростью, без коле-



Рис. 3. Антишумовая клетка WhisperFlo™

бательных процессов в точках остановки и в крайних положениях.

Когда плунжер клапана большого размера очень быстро переходит из полностью закрытого положения в полностью открытое, возникают большие моменты силы, которые прикладываются к ограничителям хода. В обычных приводах таким ограничителем служит корпус привода.

При ходе более 200 мм в оптимизированных клапанах Fisher применяются упругие компенсаторы для защиты клапана и привода. Эти компенсаторы задействуются только на последних процентах хода, обеспечивая контролируемое замедление. Важно, что при этом они являются однонаправленными устройствами, то есть работают только в одну сторону, что позволяет приводу начинать движение в обратную сторону с максимальной скоростью.

#### *Бустеры*

Для обеспечения быстрой работы привода необходим большой объем управляющего воздуха. Объемный бустер новой модели SS-263 применяется для управления приводами большого размера. Новая конструкция бустера обеспечивает пропускную способность в 3 раза больше, чем у традиционной модели 2625, и составляет 9,5 CV (KB≈11). Для уменьшения шума при работе привода, когда на сброс через бустер проходит большой объем воздуха, в самом бустере также применена система шумопонижения с трехстадийным тримом.

#### *Позиционер*

Интеллектуальный цифровой контроллер клапана FIELDVUE™ DVC6200, кроме стандартных диагностических возможностей, обладает уникальными функциями антипомпажной настройки. Для настройки оптимизированных антипомпажных клапанов Fisher как правило не требуется участие специалистов завода-производителя. Специалисту КИПиА достаточно воспользоваться функцией настройки рабочих характеристик в ПО ValveLink™ или функцией «Стабилизировать/Оптимизировать» (Stabilize/Optimize). Данная функция дает возможность управлять откликом клапана и быстро корректировать коэффициенты усиления для оптимизации рабочих характеристик. Для улучшения отклика на небольшие изменения уставки можно использовать мастер настройки фильтра «Опережение/Запаздывание» (Lead/Lag). Настраивать опережение и запаздывание можно независимо от открытия/закрытия клапана. Графическое отображение информации в режиме реального времени позволяет оператору подстраивать клапан и тут же видеть результат на экране. С помощью данных функций можно настроить клапан Fisher, не прерывая его работу, а в случае изменения требований параметры настроек можно изменять удаленно из операторной.

Все вышеописанные технические решения во много раз уменьшают время, затрачиваемое на настройку клапана в сборе. Например, для настройки традиционной конструкции антипомпажного клапана требуется 6...12 ч. Оптимизированный антипомпажный клапан Fisher настраивается за 15 мин и, как правило, не требует перенастройки.

В 2007 г. в Челябинске было открыто производство клапанов Fisher. Технологические возможности производства позволяют производить, собирать и тестировать клапаны размером до DN250 включительно. Специалистами завода также освоен выпуск антипомпажных клапанов начального уровня с проведением соответствующих тестов. В 2015 г. была выпущена первая партия антипомпажных клапанов с клетками Whisper® III.

#### **Заключение**

Подводя итог, выделим несколько преимуществ антипомпажных клапанов Fisher.

- Поддержка непрерывного безопасного рабочего режима благодаря диагностике клапана при неполных ходах в реальном времени с помощью цифрового контроллера клапана FIELDVUE™ и программного пакета AMS ValveLink™.
- Предотвращение помпажа за счет быстрого и точного срабатывания клапана, а также за счет настройки в реальном времени.
- Защита компонентов клапана и привода благодаря применению механико-пневматических амортизаторов, встроенных в цилиндр высокоскоростного привода, обеспечивающих контролируемое замедление.
- Снижение уровня вибрации и шума благодаря антишумовой многоступенчатой клетке WhisperFlo® уникальной конструкции, способной снизить уровень шума на 40 дБА.
- Быстрый ввод в эксплуатацию с помощью ПО AMS ValveLink™ и функции антипомпажной настройки цифрового контроллера FIELDVUE™. Меньшее число дополнительных принадлежностей и диагностические функции Fisher сводят время настройки к считанным минутам.
- Клапан Fisher разработан с учетом особенностей работы системы антипомпажной защиты в целом.
- Каждый клапан тестируется в сборе в соответствии с критериями методик тестирования для обеспечения максимальной производительности и эффективности.
- Антипомпажный клапан рассчитан на работу в сложных условиях эксплуатации.
- Запуск в эксплуатацию и обслуживание клапана Fisher не требует специальных знаний и навыков.

#### **Список литературы**

1. Михайлов А.К., Ворошилов В.П. Компрессорные машины. Учебник для ВУЗов. Энергоатомиздат. 1989. 288 с.
2. Евдокимов Я. Регулирование ГПА: возникающие проблемы и пути их решения // СТА. 2009. №2.

*Автономов Юрий Николаевич — менеджер по продукции Fisher компании Эмерсон.  
Контактный телефон +7(843)210-04-72.  
E-mail: Yuri.Avtonomov@Emerson.com*