

Киреев Максим Сергеевич

технический консультант по решениям
в области промышленной безопасности,

сертифицированный эксперт

по функциональной безопасности

Компания Schneider Electric

г. Москва

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ТМС (TURBOMACHINERY CONTROLS SOLUTIONS)

Аннотация: в статье обосновывается необходимость повышения эффективности управления турбокомпрессорным оборудованием – важной части АСУТП на нефтеперерабатывающих заводах, анализируются существующие и предлагаются новые решения в области промышленной безопасности. Раскрыты проблемы и пути их решений в сфере функциональной безопасности.

Ключевые слова: переработка нефти, управление турбокомпрессорным оборудованием, помпаж, контроллер, автоматизация, программное обеспечение, безопасность.

Управление турбокомпрессорным оборудованием является важной частью общей архитектуры автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП), где работы турбинных агрегатов и компрессоров имеют критическое значение. Области применения турбокомпрессорного оборудования: добыча нефти и газа на шельфе, транспортировка, производство сжиженного природного газа, этилена, полипропилена, метанола, аммиака, азотной кислоты, установки глубокой переработки нефти: каталитического крекинга, гидроочистки, алкилирования и т. п. Точность, скорость и качество управления влияют на эффективность и безопасность технологического процесса. Например,

вынужденный простой турбины или компрессоры приводит к незапланированному простоем целой установки и огромным экономическим потерям: так, простой установки каталитического крекинга может обходиться крупному нефтеперерабатывающему заводу (НПЗ) более 1 млн долларов США в день [2, с. 176].

В статье раскроем одну из очень важных подзадач ТМС, а именно – антипомпажное управление компрессорами. Помпаж – это нестабильная работа компрессора, характеризующаяся резкими колебаниями напора и расхода. Результатом помпажа является частичное или полное реверсирование потока среды через компрессор. Назовем последствия помпажа: остановка технологического процесса в результате реверсирования расхода; повреждение уплотнений компрессора, приводящее к снижению его эффективности; многократные помпажи могут вызвать катастрофические разрушения элементов компрессора, приводящие к частичной или полной потере производительности.

Подразделение Triconex компании Schneider Electric имеет более 30-летний опыт внедрения подобного рода систем. В начале 60-х годов XX в. пионерами внедрения антипомпажного управления, основанного на регулировании положения рабочей точки относительно границы помпажа, не зависящей от свойства газа, были специалисты компании Foxboro®. Линия помпажа строилась на координатах ΔP к h , где ΔP – дифференциальное давление нагнетания-всасывания в компрессоре, h – перепад давления в СУ на всасывании. Уставка контроллера представлялась в виде одной линии, расположенной под безопасным углом, с отступом в рабочую зону относительно границы помпажа. Алгоритм реализовывался на одноконтурном пневматическом контроллере. Решение, впервые опробованное компанией Foxboro, оставалось промышленным стандартом на протяжении двух десятилетий и использовалось при относительно постоянном давлении на всасывании. Такой алгоритм и аппаратное обеспечение были достаточно эффективны для защиты компрессора и значительно расширили диапазон рабочих режимов в сравнении с простым контроллером минимального расхода.

В 80-ые гг. XX в. с ростом популярности цифровых средств управления многие производители выпустили цифровые антипомпажные контроллеры. Эти контроллеры использовали все тот же алгоритм, введенный компанией Foxboro двадцать лет назад. В качестве установки контроллера использовалась наклонная прямая (рис. 1), отстоящая от границы помпажа. Как и раннее пневматическое решение Foxboro, его цифровая версия отлично работала только при использовании установки с наиболее «безопасным» консервативным запасом до границы помпажа. Однако, алгоритм, основанный на подобном подходе, менее эффективен, если компрессор работает около границы помпажа при малых отношениях давлений.

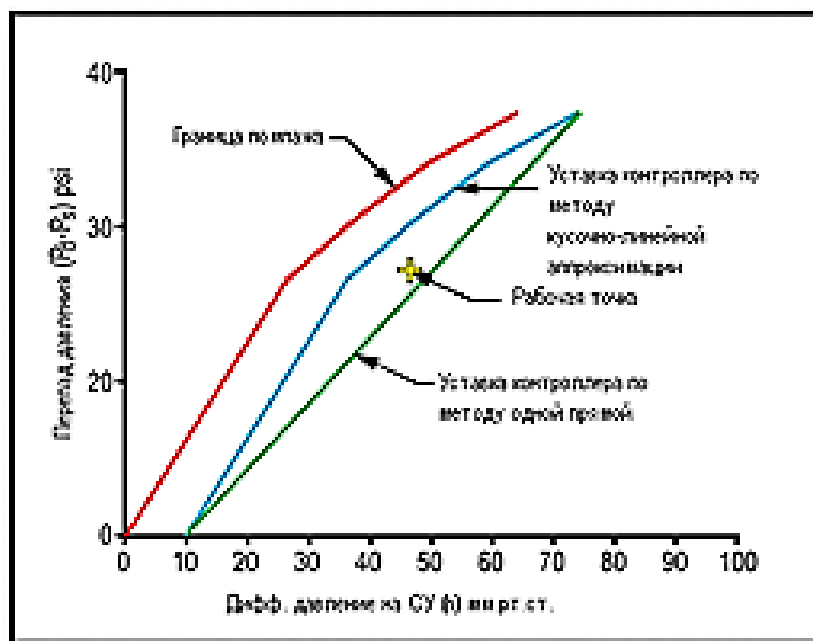


Рис. 1. Консервативный метод антипомпажного управления

Источник: составлено автором статьи.

Цифровые средства управления более адаптивны в сравнении с пневматическими, и производителями было принято решение усовершенствовать эффективность работы компрессора за счет более точного представления установки контроллера относительно границы помпажа и тем самым расширить рабочий диапазон компрессора до момента открытия антипомпажного клапана. На сего-

дняшний момент хорошо известно, что в многоступенчатом компрессоре возникновение помпажа возможно из-за различных свойств газа и частот вращения. Так, в попытке улучшить прогнозируемую линию помпажа, к этому алгоритму был добавлен параметр частоты вращения. Этот алгоритм был идеальным при неизменных свойствах газа (температура, давление и состав). Но, как правило, таких идеальных условий не бывает в практике, и фактически изменения в алгоритме лишь усугубили ситуацию. Далее в алгоритм расчета прогнозируемой линии помпажа была добавлена экспонента политропы, которая в свою очередь, связана с отношением удельных теплоемкостей газа k . Суть теории в том, k соответствуют определенному молекулярному весу. В некоторой степени эта теория справедлива для углеводородов, но со всеми остальными газами она не работает. Например, водород и азот имеют очень схожие значения k , но их молекулярный вес очень сильно отличается. Не секрет, что зачастую технический персонал исключал показатели частоты вращения и политропы для недопущения помпажа.

Тем временем, практически не повысив эффективности, поставщики с большим энтузиазмом взялись за маркетинг своих систем управления и теорий защиты компрессоров. К началу 90-х гг. часть этих теорий была использована на практике в основном из-за того, что в сфере разработки средств управления компрессоров были заняты один-два производителя, и они так или иначе задали тон ожиданиям через маркетинговые кампании. Одним из мифов, появившихся в этот период, был тот, что РСУ не настолько быстры, чтобы осуществлять антипомпажное управление, и для большинства медленных контроллеров РСУ, которые были установлены на многих НПЗ и нефтехимических заводах, это было правдой. Тем не менее для того, чтобы продвигать свои системы, крупнейшие производители антипомпажных контроллеров активно пропагандировали скорость как основной фактор, определяющий пригодность контроллера для антипомпажного управления. На тот момент планка скорости цикла была установлена в 40 мс или быстрее, и эта цифра часто используется даже сегодня. Для обоснования цифры в 40 мс один из производителей зарегистрировал данные

компрессора, когда в том случился помпаж. Эти данные показали, что переход к реверсивному движению произошел за 40 мс. Таким образом, было сделано пропагандируемое заключение, что если контроллер работает медленнее чем 40 мс, то он не способен предотвратить помпаж. Это было и остается бессмыслицей. Общеизвестно для специалистов по аэродинамике, что изменение движения газа происходит со скоростью распространения звука в среде 40 мс, которые были измерены в ходе теста, это время отклика расходомера. Кроме того, если максимальное время для реагирования системы на помпаж составляет 40 мс, то это будет слишком поздно; не останется запаса по времени для открытия антипомпажного клапана.

Система управления, которая может точно спрогнозировать нахождение границы помпажа компрессора вне зависимости от изменения параметров газа на всасывании (давление, температура и состав), имеет достаточно времени для управления процессом и предотвращения помпажа даже при достаточно незначительном запасе до границы помпажа при нормальных переходных процессах, должна обладать быстродействием не менее 100 мс. Это обусловлено тем, что временные постоянные технологических процессов на НПЗ и химических заводах значительно выше, обычно измеряются минутами. В этиленовой установке автоматическое отключение промышленной печи занимает более 30 секунд для последующего изменения расхода газа на всасывании компрессора. Полная потеря теплоносителя в промышленном холодильнике не вызовет изменений в давлении на всасывании холодильного компрессора в силу термической инерции оборудования и запаса жидкости в испарителях.

Пожалуй, единственное событие, которое моментально вызывает приближение рабочей точки к границе помпажа – это падение частоты вращения, быстрое закрытие дроссельной заслонки на всасывании или любого рода закупоривания, типа большого постороннего объекта, попавшего в газовый тракт компрессора. Посторонние предметы, которые могут быстро снизить скорость потока в компрессоре, вызывают помпаж вне зависимости от частоты вращения компрес-

сора, и данный инцидент не учитывается при проектировании. Для предотвращения падения частоты вращения или быстрого закрытия заслонки на всасывании совсем не нужно иметь контроллер с высоким временем обработки в 40 мс. Самый лучший способ предотвратить указанное, по нашему убеждению, это – интегрировать антипомпажный контроллер с контроллером скорости и системой ПАЗ на базе аппаратной платформы высокой степени надежности и безопасности. Конечно, при останове рабочая точка движется в направлении границы помпажа очень быстро, но размер и скорость открытия антипомпажного клапана являются гораздо более важными показателями, нежели чем скорость контроллера.

Расходомеры сами по себе создают шумы, помпажный расход чаще всего лежит около нижних пределов диапазона преобразователя (обычно менее 20% диапазона КИП), и соотношение сигнал-шум обычно очень небольшое. Шум, присутствующий в сигнале расхода, может спровоцировать нежелательный отклик ПИД-регулятора. Шум фактически может стать причиной регулирования положения рабочей точки на 3–4% выше реального положения линии уставки. Единственным практическим решением является фильтрация сигнала расхода. Таким образом, использование процессора, скорость которого значительно выше, чем временная постоянная фильтра – не самое лучшее решение.

Исследования позволяют сделать вывод о том, что при подходящей скорости процессора (<100 мс) и использовании надежного алгоритма определения границы помпажа практически любой контроллер может предотвратить помпаж компрессора при условии, что входящие сигналы от КИП верны, а размерные характеристики и быстродействие антипомпажного клапана подобраны правильно, работа всех компонентов отлажена. Тем не менее, правильно спроектированная система управления компрессором должна также обезопасить технологический процесс. Современная система управления компрессором должна предотвращать помпаж даже при отказах КИП без создания нештатных сбоев в технологическом процессе, и система управления никогда не должна являться причиной останова.

В научной технической литературе обсуждается вопрос о применении дифференциации скорости для реализации задач управления компрессором [1, р. 48]. Некоторые производители систем управления применяют групповую дифференциацию по скорости, таким образом, можно обрабатывать некоторые задачи быстро, а другие – на более низкой скорости. Например, контур регулирования частоты вращения работает со временем обработки в 20 мс, а более медленные контура и блокировки – со временем обработки в 100 мс. Но если контур регулирования частоты вращения выполняется на скорости 20 мс, почему бы всем задачам не работать с такой же скоростью? Ответ: потому что в контроллере нет столько «лошадиных сил». В мире компьютеров подход групповой дифференциации по скорости часто ассоциируется с прерываниями или планировщиком задач. Triconex® не использует прерывания и планировщики задач, так как при таком подходе реакция системы управления непредсказуема. Основной причиной того, почему производители используют дифференциацию по скорости, является большая погрешность измерения частоты вращения турбины. Они вынуждены исполнять контур регулирования частоты вращения гораздо чаще, чем это требуется в контроллерах Triconex. Затем результаты, для уменьшения погрешности измерений усредняются. Для компенсации задержки отклика при таком подходе производители вынуждены ускорять время обработки данных контроллером. В силу того, что измерение частоты вращения в контроллерах Triconex в 25 раз более точные, чем у других производителей, то и управление становится более точным при скорости обработки в 50 мс, чем при скорости 10 мс. В диапазоне от 1000 до 20 000 Гц в контроллерах Triconex измерение частоты вращения происходит с погрешностью 0,01%. Благодаря интеллектуальным модулям импульсного ввода Triconex © программа может считывать частоту вращения турбины в об/мин. без какого-либо специального масштабирования или программирования.

Компания Schneider Electric предлагает своим заказчикам системы Triconex (Tricon, Trident, Tri-GP, Tricon CX) для построения интегрированной системы антипомпажного регулирования и защиты. Построенные на базе отказоустойчивой

архитектуры TMR (Triple Modular Redundancy – тройное модульное резервирование), они обеспечивают высочайший уровень безопасности и надежности. Контроллеры Tricon, Trident, Tri-GP имеют сертификаты TUV на соответствие SIL3. Для разработки прикладного ПО таких систем Triconex предлагает специализированные библиотеки FBD (Function Block Diagram – функциональные блочные диаграммы) блоков для решения следующих задач: противопомпажное регулирование и защита, регулирование технологических переменных, распределение нагрузки между компрессорами; управление подачей топлива в газовые турбины; управление частоты вращения паровой турбины, регулирование отбора пара.

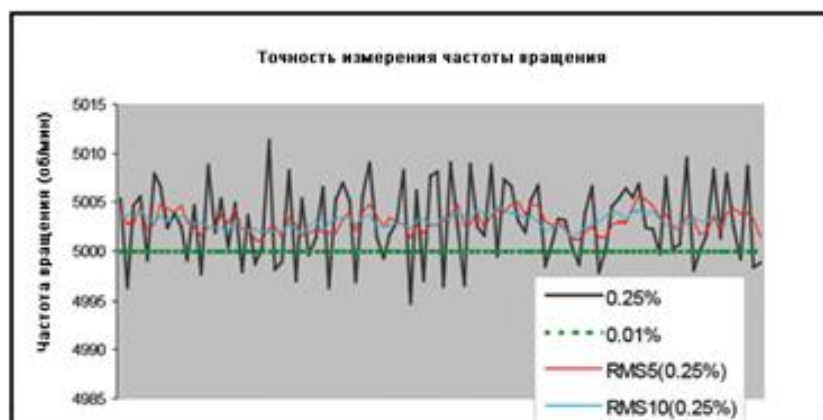


Рис. 2. Разница измерения частоты вращения с погрешностью 0,01% и 0,25%

Источник: составлено автором статьи.

В области антипомпажного регулирования Triconex не просто использует алгоритм прогнозирования границы помпажа, который не зависит от изменения свойств газа, но и имеет некоторые функции, которые повышают эффективность контроллера, компенсируют отказ КИП, минимизируют возмущения технологического процесса. В заключение подчеркнем, что, по нашему убеждению, Triconex имеет самую надежную в мире аппаратную платформу управления турбокомпрессорным оборудованием; в решениях Triconex используются эффективные алгоритмы и функции управления турбокомпрессорным оборудованием, которые защищают технологический процесс.

Список литературы

1. William L. Leffler's. Petroleum Refining. Book, Inc., Portland, OR. – 2013.
2. Киреева Е.В. Финансирование проектов инновационного развития реального сектора российской экономики // News of science Proceedings of materials the international scientific conference. – 2015. – С. 175–180.
3. Быкова В. Насколько быстрым должен быть контроллер, чтобы предотвратить помпаж в компрессоре? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docplayer.ru/299698-Naskolko-bystrym-dolzhen-byt-kontroller-chtoby-predotvratit-pompazh-v-kompressore.html>