



Регулирование ГПА: возникающие проблемы и пути их решения

Ярослав Евдокимов

В статье рассмотрены проблемы, возникающие при создании систем регулирования для газоперекачивающих агрегатов, и как вариант решения представлен блок регулирования газоперекачивающего агрегата типа ГПК-10-4, разработанный НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА».

ВВЕДЕНИЕ

Газоперекачивающие агрегаты (ГПА) – сложные технические объекты, от работы которых зависит безопасность и экономическая эффективность транспортировки природного газа по магистральным газопроводам. Управление такими объектами невозможно без средств автоматизации, исключающих человеческий фактор и обеспечивающих быструю и правильную реакцию на внешние воздействия.

Важной частью автоматики ГПА являются средства регулирования. На ГПА с газотурбинным приводом средства регулирования выполняют следующие функции:

- стабилизацию и изменение по командам оператора частоты вращения силовой турбины (турбины нагнетателя) путём управления топливным регулирующим клапаном (так называемое топливное регулирование);
- обеспечение работы центробежного нагнетателя в безопасной зоне по расходу и степени сжатия (антипомпажное регулирование) путём управления байпасным клапаном;
- стабилизацию и изменение по командам оператора давления на выходе нагнетателя или расхода технологического газа через нагнетатель путём формирования задания на подсистему топливного регулирования.

Выполнение каждой из этих функций требует решения комплекса задач. Сложность объекта управления приводит к тому, что только немногие фирмы

могут продемонстрировать полноценное решение задач автоматизации ГПА, включая антипомпажное и топливное регулирование.

Рассмотрим подробнее некоторые проблемы, возникающие при создании систем регулирования для ГПА, решения которых воплощены в ряде разработок НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА».

Точное измерение частоты вращения турбин

Основа любого регулирования – измерение регулируемой величины. От точности и быстродействия измерительного канала во многом зависит качество регулирования. Например, невозможно обеспечить точность стабилизации частоты вращения турбины ± 5 об/мин, если измерительный канал имеет погрешность ± 10 об/мин.

Основными величинами для топливного регулятора являются частоты вращения силовой турбины и турбины газогенератора. Для их измерения применяются индукционные датчики, формирующие импульсы при прохождении зубьев измерительного колеса мимо датчика. Частота импульсов пропорциональна скорости вращения, и для измерения достаточно определить эту частоту. Но надо заметить, что требования к точности измерений весьма высоки: частоту вращения от единиц до нескольких тысяч оборотов в минуту нужно измерять с погрешностью не более 2-3 об/мин. При этом скорость измерений должна быть сравнима с динамикой двигате-

ля, недопустимы осреднение и фильтрация сигнала в течение нескольких секунд. Кроме того, уровень сигнала от индукционного датчика зависит от частоты вращения: на малых частотах сигнал слабый и легко зашумляется. Ещё одна проблема – неточность формы зубьев измерительного колеса, что приводит к неравномерности периода импульсов и возможным пропускам отдельных импульсов. Таким образом, «простая» задача измерения скорости вращения по частоте импульсов от датчика превращается в достаточно сложную проблему, решение которой требует создания специальных аппаратных и программных средств.

Первая часть канала измерения частоты вращения – усилитель-формирователь, обеспечивающий преобразование сигнала от индукционного датчика в чёткие прямоугольные импульсы заданной амплитуды. Как уже отмечалось, основная проблема тут – зависимость уровня сигнала от частоты вращения, а также наложение всевозможных помех, прежде всего высокочастотных. В усилителе-формирователе, разработанном НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА», применяется схема автоматической регулировки усиления (АРУ), обеспечивающая оптимальное соотношение сигнал/шум на различных частотах вращения и выгодно отличающаяся от пассивных частотно-зависимых схем, используемых в некоторых аналогах. Пассивные схемы требуют гораздо более тонкой и длитель-

ной настройки по сравнению с АРУ, что замедляет пусконаладку и может приводить к ложным остановам агрегата из-за неправильного измерения частоты.

Импульсы от усилителя-формирователя поступают на модуль частотомера-периодомера. Использование комбинированного алгоритма замера частоты или периода импульсов позволяет обеспечить точность измерений как на низких, так и на высоких частотах и при этом проводить измерение за один оборот рабочего колеса, чтобы исключить погрешность («плавание» частоты), вызванную отклонениями формы зубьев колеса. В качестве частотомера-периодомера используется модуль UNIO96 компании FASTWEL со специальным вариантом прошивки. Управление режимами его работы, частотой заполнения и другими параметрами выполняется программно от центрального процессора FASTWEL CPU686E. Фактически достигается точность измерений на рабочих режимах 1 об/мин, при этом нижний порог чувствительности составляет около 3-5 об/мин.

ОБЪЕДИНЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ И ОГРАНИЧИТЕЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТОПЛИВНЫЙ КЛАПАН В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ГПА

Основная задача топливного регулирования — управлять топливным клапаном таким образом, чтобы обеспечить заданную частоту вращения силовой турбины привода ГПА. В то же время изменение подачи топлива в камеру сгорания приводит к тому, что одновременно изменяются и другие параметры газотурбинного двигателя: частота вращения турбины газогенератора, давление за компрессором, температура продуктов сгорания [1]. При работе двигателя значения этих параметров должны оставаться в допустимых пределах. Температура продуктов сгорания и давление за компрессором должны быть ограничены сверху, а частота вращения турбины газогенератора — сверху и снизу. Ограничение сверху обусловлено прочностью конструкции, а снизу — устойчивостью работы компрессора и недопущением длительной работы в зоне резонансных колебаний ротора.

Для ограничения допустимых значений параметров двигателя необхо-



Газоперекачивающие агрегаты ГПК-10-4 на компрессорной станции в Тюменской области

димо изменять подачу топлива (положение топливного клапана) при приближении к границам регулирования. Таким образом, задача топливного регулирования не сводится к одному лишь замыканию обратной связи по частоте вращения силовой турбины, а требует формирования управляющих воздействий по различным параметрам двигателя и объединения этих воздействий на один регулирующий клапан.

Основным предметом разработки при создании систем топливного регулирования является именно способ объединения управляющих воздействий по различным параметрам двигателя на регулирующий клапан. В настоящее время известны несколько вариантов решения этой задачи.

1. Остановка перемещения регулирующего клапана при приближении какого-либо параметра к ограничительной уставке. Например, если регулятор частоты вращения увеличивает степень открытия клапана, а при этом температура продуктов сгорания приблизилась к ограничению, положение клапана фиксируется, пока температура не уменьшится. Этот способ имеет следующий недостаток: за счёт инерционности объекта может произойти выход за ограничительное значение. В результате для безопасного регулирования приходится искусственно уменьшать уставку, что снижает диапазон мощности двигателя и приводит к снижению экономической эффективности работы ГПА.

Назначение ГПА — повышение давления газа при его транспортировке по газопроводу. Требуемая для этого мощность зависит от сезонного режима работы газопровода, возможных возмущений из-за пусков и остановок других агрегатов и прочих факторов. Чем больше диапазон располагаемой мощности каждого ГПА, тем меньше требуется пусков и остановок для регулирования суммарной мощности. Каждый пуск приводит к повышенному расходу ресурса ГПА; таким образом, уменьшение количества пусков увеличивает межремонтные интервалы и снижает затраты на ремонты.

2. Приведение ошибок регулирования по всем рабочим и ограничиваемым параметрам к одному диапазону (условным единицам), выбор ошибки регулирования с максимальным абсолютным значением и подача этой ошибки на вход регулятора. В качестве регулятора здесь, как и в других схемах, выступает хорошо известный в теории автоматического управления ПИД-регулятор. Выход регулятора подаётся на регулирующий клапан. Недостатком этого способа является сложность настройки приведения к одному диапазону значений параметров, имеющих совершенно различный физический смысл. Также важно, что различие динамики объекта по разным параметрам приводит к неоптимальности работы регулятора, настроенного на один из параметров, при работе по другому параметру.

Из теории управления известно, что коэффициенты усиления регулятора должны быть связаны со свойствами объекта управления, прежде всего — с инерционностью этого объекта. При регулировании нескольких параметров двигателя, по сути, происходит переключение между различными объектами; например, температура продуктов сгорания изменяется намного быстрее, чем частота вращения турбины. Поэтому такое регулирование не может быть выполнено одним регулятором одинаково эффективно по различным параметрам.

3. Подача ошибок регулирования по различным параметрам двигателя на отдельные регуляторы и выбор минимального (при ограничении сверху) и максимального (при ограничении снизу) выхода регулятора для подачи на регулирующий клапан. Такая схема наиболее часто применяется в настоящее время. Тем не менее её практическая реализация связана с определёнными проблемами (как говорится, «дьявол спрятан в мелочах»), поэтому каждая фирма имеет свои на-

работанные решения, так или иначе решающие эти проблемы. В процессе разработки специалистам НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА» удалось создать решение, не имеющее прямых аналогов; в настоящее время оно находится в стадии патентования. Работоспособность этого решения подтверждена эксплуатацией регулятора на ГПА типа ГТК-10-4 и успешным прохождением межведомственных испытаний.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ПРИ ОТКАЗЕ ДАТЧИКОВ

Газоперекачивающий агрегат является объектом повышенной опасности, поэтому он имеет развитую датчиковую обвязку, обеспечивающую работу системы аварийных защит и ограничительных регуляторов. Как всякое оборудование, датчики имеют конечную надёжность, и при работе возможны их отказы. При этом предъявляются противоречивые требования к реакции автоматики на такие отказы. С одной стороны, отказ датчика какого-то параметра означает отсутствие защиты и ограниче-

ния по этому параметру. Следовательно, безопасность работы ГПА нарушается, а значит, должен быть выполнен аварийный останов для перевода оборудования в безопасное состояние. С другой стороны, в некоторых случаях параметры ГПА частично дублируют друг друга; например, давление за компрессором двигателя пропорционально частоте вращения турбины газогенератора. Поэтому аварийная защита и ограничение режима работы двигателя могут выполняться по оставшимся исправным каналам. Получается, что работа двигателя с частью отказавших датчиков в некоторых случаях допустима, при этом ремонт измерительного канала может быть выполнен «на ходу», а отклонения от заданного режима работы газопровода не произойдёт.

По многолетнему опыту известно, что основную часть отказов измерительных каналов составляют обрывы жил в кабелях, отсутствие контакта в клеммниках и другие подобные причины, легко устраняемые при своевременном обнаружении. Отказы датчиков и измерительных преобразовате-

ПОМПАЖ И АНТИПОМПАЖНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

На рис. 1 показан типичный вид газодинамических характеристик (ГДХ) центробежного нагнетателя [3]. Каждая кривая отражает связь между степенью сжатия нагнетателя и расходом газа через него (производительностью) при постоянной частоте вращения ротора.

Центробежный нагнетатель имеет ограниченный диапазон производительности. Если поток газа через нагнетатель меньше определённой величины, то вращающиеся лопасти рабочего колеса не могут «захватить» газ и устойчивая работа нагнетателя нарушается. Вследствие срыва потока в системе «нагнетатель + трубная обвязка» воз-

никают низкочастотные колебания расхода и давления, называемые помпажем.

Линия, соединяющая точки срыва потока при различной скорости вращения ротора нагнетателя, называется границей помпажа (красная линия на графике). Помпаж сопровождается несколькими явлениями, делающими работу нагнетателя неэффективной и опасной.

- Сначала происходит существенное повышение нагрузки на приводной двигатель (за счёт повышения степени сжатия), а затем срыв нагрузки (при падении расхода) и резкая разгрузка привода. На газотурбинных агрегатах это приводит к быстрому росту частоты вращения: рост скорости около 1000 (об/мин)/с. На электроприводных ГПА предпомпажное состояние сопровождается существенным ростом тока статора двигателя.
 - Резкие колебания расхода и давления приводят к вибрациям ротора, что повышает нагрузку на подшипники и лабиринтные уплотнения вплоть до возможности их разрушения.
 - Нерасчётный режим обтекания лопаток нагнетателя приводит к переходу большого количества энергии в тепло и перегреву газа.
- Для того чтобы избежать помпажных явлений, нагрузкой на нагнетатель можно управлять при помощи регулируемого бай-

пасного клапана, перепускающего часть газа с выхода нагнетателя на его вход. На воздушных компрессорах, берущих воздух из атмосферы, такой же эффект даёт сброс части воздуха в атмосферу с выхода компрессора. На рис. 2 видно, что открытие байпасного клапана уменьшает нагрузку на нагнетатель, закрытие увеличивает. Рабочая точка перемещается вправо (в сторону увеличения расхода) при открытии клапана, влево при закрытии. Таким образом можно обеспечить устойчивую работу нагнетателя при неблагоприятной характеристике нагрузки.



Рис. 1. ГДХ центробежного нагнетателя

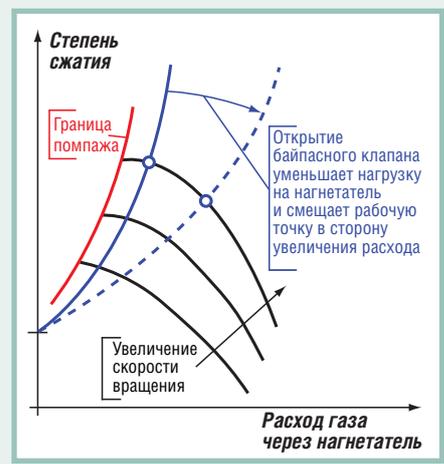


Рис. 2. ГДХ центробежного нагнетателя при управлении байпасным клапаном

лей происходят реже, причём они тоже могут быть быстро устранены простыми мероприятиями при наличии необходимых запчастей. Отказы же сигнальных и процессорных модулей контроллеров являются чрезвычайно редкими событиями. Таким образом, большинство отказов измерительных каналов может быть устранено силами персонала компрессорной станции без останова ГПА и без нарушения режима транспортировки газа.

При разработке системы топливного регулирования необходимо ранжировать отказы измерительных каналов по важности и предусматривать различную реакцию на отказы: при некоторых отказах выполнять аварийный останов, а при части отказов — отключать соответствующие аварийные защиты и контуры регулирования и снова включать их после ремонта канала. Разумеется, такие отключения и включения должны выполняться безударно, без изменения положения регулирующего клапана.

В регуляторе разработки НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА» предусмотрена реакция «аварийный останов» на отказ каналов измерения температуры продуктов сгорания как наиболее

ответственных каналов. Отказ всех остальных каналов измерения не приводит к останову и изменению режима работы ГПА. Например, при отказе канала измерения частоты вращения силовой турбины происходит переход на регулирование по частоте вращения турбины газогенератора, при отказе всех датчиков частоты вращения — на регулирование по температуре продуктов сгорания и т.д. Предусмотрена также возможность ручного дистанционного управления регулирующим клапаном, в том числе и на работающем агрегате. При таком режиме выполняются аварийная защита и ограничение режима по тем параметрам, каналы измерения которых исправны.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ ПОМПАЖА НАГНЕТАТЕЛЯ И УЧЁТ НЕЛИНЕЙНОСТИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГНЕТАТЕЛЯ

Суть антипомпажного регулирования заключается в том, чтобы обеспечить устойчивую работу центробежного нагнетателя, управляя для этого байпасным (антипомпажным) клапаном [2]. Давно известны системы антипомпажной защиты, полностью от-

крывающие клапан при падении расхода газа через нагнетатель ниже некоторого порога. Свою защитную функцию они успешно выполняли; тем не менее, в результате сужался диапазон производительности нагнетателей. Дело в том, что зачастую требуется длительная работа вблизи помпажной зоны (см. врезку «Помпаж и антипомпажное регулирование»). Например, требуемая общая производительность компрессорного цеха такова, что два нагнетателя не могут её обеспечить, а для трёх она слишком мала. В результате три нагнетателя работают в режиме минимальной производительности. При малейшем возмущении по расходу или давлению газа может оказаться, что режим работы нагнетателя сместится в помпажную зону. Система антипомпажной защиты в этом случае полностью откроет байпас, а когда производительность нагнетателя стабилизируется — снова закроет его. Такой процесс будет происходить циклически и непрерывно, «раскачивая» работу газопровода, повышая нагрузки на трубы и увеличивая расход топлива ГПА.

С появлением байпасных клапанов с аналоговым управлением, способ-

ПОМПАЖНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ НАГНЕТАТЕЛЯ

На рис. 3 показаны графики аналоговых параметров, полученные при помпажном тестировании нагнетателя на одной из компрессорных станций в Западной Сибири. Параметр « dP на конфузоре», то есть перепад давлений на сужающем устройстве (конфузоре) нагнетателя, характеризует производительность нагнетателя. Видно, что при плавном закрытии антипомпажного клапана (АПК) вначале идёт практически линейное уменьшение перепада давлений на конфузоре. Затем, в момент времени $t=965$ с, отмечается резкий провал на графике перепада давлений на конфузоре и ускорение силовой турбины. По этим признакам детектор помпажа в составе программного обеспечения блока регулирования ГПА распознаёт срыв потока в нагнетателе и открывает АПК. Надо заметить, что на сигнал перепада давлений на конфузоре накладывается помеха

(шум), заметная на графике как высокочастотные колебания, но детектор помпа-

жа не реагирует на эту помеху благодаря цифровой фильтрации сигнала.

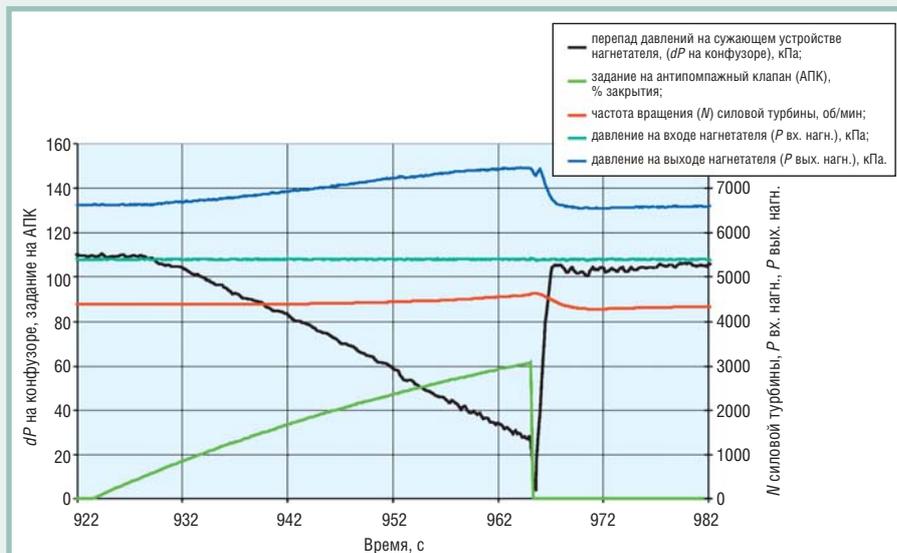


Рис. 3. Результаты помпажного тестирования нагнетателя

ных достаточно точно и быстро открываться на заданную величину (в России и странах СНГ в основном используются клапаны фирмы Mokveld Valves bv), открылась возможность создания систем антипомпажного регулирования. Такие системы измеряют расстояние до границы помпажной зоны и рассчитывают необходимую степень открытия антипомпажного клапана. При решении этой, казалось бы, простой задачи возникают следующие проблемы:

- газодинамические характеристики (ГДХ) нагнетателя имеют достаточно сложную форму, границы помпажа при заводских испытаниях нагнетателей определяется неточно, более того, в процессе эксплуатации она смещается из-за износа проточной части — в силу этих причин возникает необходимость идентификации помпажной границы на реальном ГПА, а не на испытательном стенде;
- наклон ГДХ является переменным, участок около помпажной границы — наиболее пологий, в результате маленькое воздействие на антипомпажный клапан приводит к большому изменению расстояния до границы помпажа, а при удалении от границы чувствительность к положению байпасного клапана снижается; при реализации регулирования нужно учитывать эти факторы, корректируя свойства регулятора.

Для идентификации границы помпажа применяется методика, называемая «помпажным тестированием» (см. врезку «Помпажное тестирование нагнетателя»). Помпажный тест впервые начала применять фирма Nuovo Pignone. Суть тестирования состоит в том, что нагнетатель, работающий на байпас, начинают постепенно «запирать» по выходу, медленно закрывая байпасный клапан. Производительность нагнетателя падает, давление на выходе растёт, то есть режим приближается к помпажному. В какой-то момент в нагнетателе происходит срыв потока (рассмотрение этого явления выходит далеко за рамки данной статьи), предшествующий помпажу. Срыв потока распознаётся по резкому падению производительности нагнетателя и резкому падению потребляемой нагнетателем мощности, а значит, росту частоты вращения силовой турбины. Разумеется, при этом топливный регулятор уменьшает подачу топлива, чтобы не допустить раскрутки турбины, но всё же можно чётко распознать момент срыва. При распознавании этого явления необходимо открыть байпасный клапан, чтобы не допустить развития помпажа. Частота вращения силовой турбины, производительность и степень сжатия нагнетателя в момент

срыва определяют координаты одной из точек границы зоны устойчивой работы нагнетателя. Проведя такое тестирование при нескольких значениях частоты вращения, получим несколько точек. Как правило, полученная кривая не точно совпадает с кривой, построенной при стендовых испытаниях опытного образца нагнетателя. Особенно это справедливо в отноше-



Рис. 4. Блок регулирования ГПА разработки и производства НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»

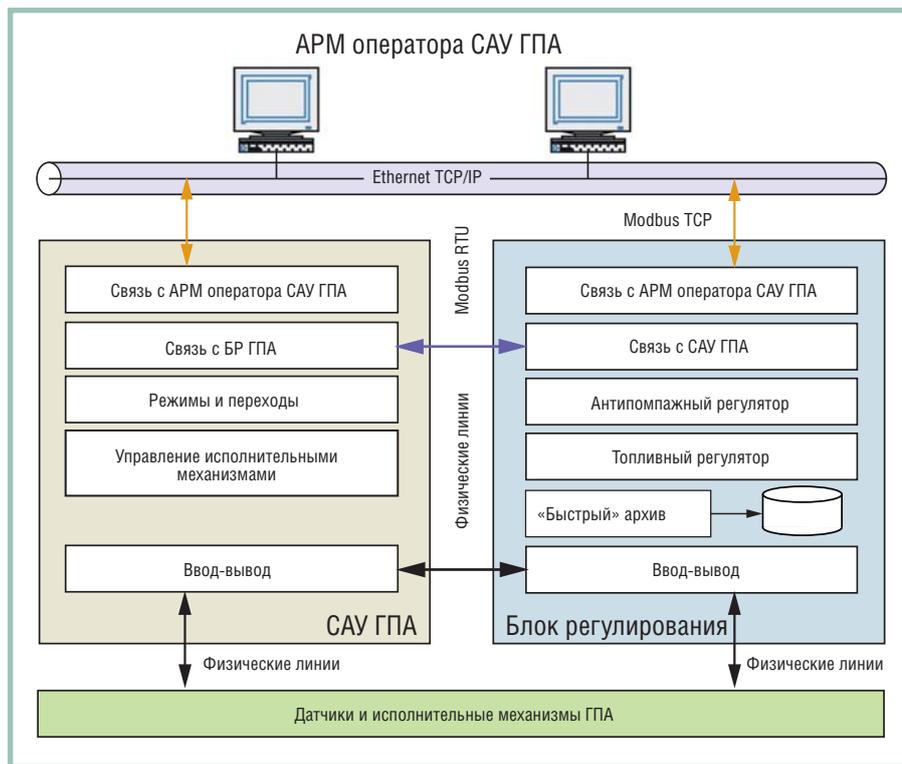


Рис. 5. Структура блока регулирования ГПА и его место в системе

нии нагнетателей с большим сроком эксплуатации, а таких достаточно много.

Поскольку срыв потока развивается весьма быстро, человек не всегда может вовремя определить момент срыва. Поэтому необходима автоматизация определения помпажной точки. Современные быстродействующие контроллеры, позволяющие реализовать алгоритмы цифровой фильтрации сигнала и численного дифференцирования в реальном времени, дают такую возможность. Автор этой статьи неоднократно проводил помпажные тесты в «комбинированном» режиме, когда для обеспечения безопасности в цепь управления байпасным клапаном была встроена кнопка, обеспечивающая по команде оператора мгновенное открытие клапана. Интересно, что ни разу тест не был закончен по команде от этой кнопки: анализ графиков аналоговых параметров показывал, что команда открытия байпаса всегда подавалась системой регулирования раньше, чем оператором. Практика показала, что для безопасного решения этой задачи просто не хватает скорости реакции человека.

Тот же алгоритм автоматического распознавания срыва, который используется для помпажного тестирования, применяется и для антипомпажной защиты при работе агрегата. Это «последний рубеж» защиты на случай

настолько резкого внешнего воздействия, что антипомпажный регулятор не успеет его обработать.

В системе регулирования разработки НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА» реализован алгоритм распознавания срыва (детектор помпажа), обеспечивающий защиту без помпажных «хлопков». Чувствительность детектора настраивается при помощи коэффициентов, задаваемых с отладочного экрана автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора. Настройка чувствительности и фильтрация зашумленного сигнала перепада давлений на конфузоре обеспечивает адекватное вычисле-



Рис. 6. Объект внедрения – ГПА типа ГТК-10-4

ние производной, что исключает ложные срабатывания детектора.

Блок регулирования ГПА

Блок регулирования ГПА (БР ГПА) разработки НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА» представляет собой отдельное функционально законченное устройство (рис. 4), которое обменивается данными с САУ ГПА (поставки другого разработчика) по каналу Modbus RTU и по физическим линиям (рис. 5). Для отображения работы системы регулирования и обеспечения возможности задания уставок производится обмен данными с АРМ оператора ГПА по Ethernet-каналу с использованием протокола Modbus TCP. При согласовании протоколов обмена данными БР ГПА может работать с любым типом современной САУ ГПА. Программное обеспечение БР является достаточно гибким и может быть легко адаптировано под различные типы ГПА.

Типичным объектом управления БР является ГПА типа ГТК-10-4 (рис. 6). Агрегаты этого типа морально и физически устарели, тем не менее, они составляют большую часть парка ГПА ОАО «Газпром». Полная замена таких агрегатов требует чрезвычайно больших вложений и нецелесообразна. Поэтому повсеместно проводится их модернизация с заменой проточной части турбогруппы, заменой топливной аппаратуры, реконструкцией рекуператоров и камер сгорания и т.д. Важной частью модернизации является замена автоматики. В настоящее время типовым вариантом автоматики для этого типа ГПА является ре-

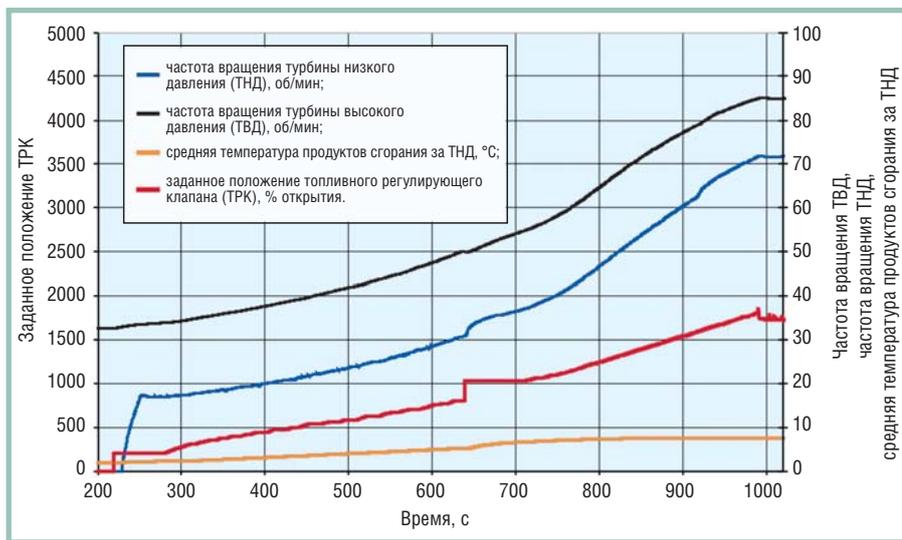


Рис. 7. График изменения аналоговых параметров при пуске агрегата типа ГТК-10-4

лейная система А 705, дополненная системой топливного и антипомпажного регулирования Series 3+ или Series 4 фирмы Compressor Controls Corporation. В качестве топливного регулирующего клапана используется клапан Amot, на полнонапорных нагнетателях в качестве антипомпажного клапана установлен клапан фирмы Mokveld Valves bv.

Релейная автоматика отличается низкой надёжностью и примитивным отображением информации, в результате происходят ложные остановы и невыполненные пуски по вине автоматики. Также затруднён анализ аварийных остановов по отказам основного оборудования, так как средства архивирования информации вообще отсутствуют. Запасные части для устаревших САУ не выпускаются.

Системы регулирования Series 4 работают хорошо, но есть проблема ремонтов и отсутствия технической поддержки устаревшего оборудования. Всё это приводит к тому, что при модернизации ГПА целесообразна полная замена автоматики вместе с системой регулирования.

БР ГПА разработки НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА» отличается следующими характеристиками:

- выполняется регулирование частоты вращения силовой турбины, турбины газогенератора или температуры продуктов сгорания по выбору оператора, причём обеспечивается точность регулирования по частоте вращения силовой турбины 3-5 об/мин, изменение по командам оператора с темпом 10 (об/мин)/с;
- осуществляется аварийная защита по частоте вращения турбин, температу-

ре продуктов сгорания, давлению топливного газа, помпажу нагнетателя;

- обеспечено ограничительное регулирование частот вращения турбин, температуры продуктов сгорания, давления за компрессором двигателя;
 - пуск ГПА производится с плавным ограничением скорости роста температуры продуктов сгорания (рис. 7);
 - нормальный останов ГПА выполняется с постепенным снижением частоты вращения для охлаждения двигателя;
 - алгоритмы отказоустойчивого управления обеспечивают безаварийную работу при отказах датчиков;
 - антипомпажное регулирование нагнетателя обеспечивает ограничение расстояния до границы помпажа, давления на выходе нагнетателя, степени сжатия нагнетателя;
 - автоматизировано проведение помпажного тестирования и обеспечена антипомпажная защита путём распознавания срыва потока в нагнетателе;
 - выполняется регулирование таких параметров технологического процесса, как производительность нагнетателя, давление на выходе нагнетателя, степень сжатия нагнетателя;
 - в контроллере хранится аварийный «быстрый» архив с частотой дискретизации 25 мс и передаётся на АРМ оператора ГПА для отображения и архивирования в базе данных.
- Основу аппаратной части БР составляют IBM PC совместимые контроллеры фирмы FASTWEL. Контроллеры дублированы и реализуют схему «горячего» резервирования.

В контроллере используется операционная система реального времени QNX. Прикладное программное обеспечение – собственная разработка фирмы-изготовителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание эффективной системы регулирования для ГПА с газотурбинным приводом – сложная техническая задача.

Предметом разработки многих фирм являются системы автоматического антипомпажного и топливного регулирования, но результат зависит от того, насколько успешно разработчик сочетает понимание технологического процесса и опыт создания систем управления.

Компанией НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА» разработан и внедрён блок регулирования для ГПА типа ГТК-10-4. Блок регулирования выполняет функции топливного и антипомпажного регулирования, его характеристики позволяют решать эти задачи для любого типа ГПА с минимальными изменениями аппаратуры и программного обеспечения.

В статье рассмотрен вопрос точного измерения частоты вращения, приведён пример построения схемы многоконтурного регулирования, а также описан способ автоматизированного помпажного тестирования центробежного нагнетателя. Эти и многие другие вопросы были решены при разработке блока регулирования ГПА.

Эффективность работы блока регулирования подтверждена успешной эксплуатацией с осени 2007 года. В настоящее время некоторые решения, найденные в процессе разработки, патентуются. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Адаптивные системы управления газотурбинными двигателями летательных аппаратов / В.Ю. Рутковский и др. – М.: Издательство МАИ, 1994. – 224 с.
2. Михайлов А.К., Ворошилов В.П. Компрессорные машины: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 288 с.
3. Альбом характеристик центробежных нагнетателей природного газа. – М.: ВНИИГаз, 1985.

Автор – сотрудник ООО НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»
Телефон: (812) 350-1967
E-mail: info@lenprom.spb.ru