

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ТРАНСПОРТА ГАЗА

П.А. Захаров (ДООО "Оргэнергогаз"),  
Н.В. Киянов, О.В. Крюков (ООО "Интермодуль")

*Рассмотрены особенности аппаратной реализации и ПО автоматизированных установок в АСУ компрессорных станций. Представлены новые структуры и алгоритмы, обеспечивающие реализацию функциональных возможностей локальных АСУ объектами магистральных газопроводов.*

Важнейшим направлением повышения технико-экономической эффективности, экологической безопасности и надежности функционирования ТП в топливно-энергетическом комплексе является оснащение локальных объектов современным электротехническим оборудованием и интеграция их в АСУ производств. В первую очередь это относится к внедрению автоматизированных систем с частотно-регулируемым электроприводом в технологиях добычи, транспортировки и переработки нефти и газа.

В настоящее время более 70% оборудования нефтегазовой промышленности имеет срок службы свыше 15 лет, оснащено системами на базе нерегулируемых двигателей без систем мониторинга, что приводит к перерасходу электроэнергии, вредному воздействию на окружающую среду и исполнительные механизмы, снижая их долговечность. Масштабных реконструкций и модернизаций на уровне локальных объектов и систем в период 1986–2003 гг. не проводилось, что привело к устойчивой тенденции увеличения аварийности основного и вспомогательного электрооборудования.

Несмотря на специфику отраслевого применения оборудования топливно-энергетического комплекса, оснащение его автоматизированным электроприводом с преобразователями частоты и интеграция его в рамках АСУТП обеспечивает оптимизацию режимов работы каждого объекта, энерго- и ресурсосбережение, а также их системную безаварийность. Высокая эффективность применения регулируемого электропривода для насосных и вентиляционных установок, работающих с переменными режимами нагрузки, подтверждена многолетним опытом компании "Интермодуль" по их проектированию и внедрению в промышленности и на объектах нефтегазовой промышленности.

Главной задачей эффективного транспорта газа является обеспечение требуемой производительности компрессорных станций в изменяющихся условиях подачи и потребления газа. Это необходимо для поддержания оптимального давления в магистральном газопроводе и обеспечения надежной работы газотранспортной системы. Данная задача требует системного, комплексного подхода и включает несколько аспектов:

- *технологический* — гарантированное обеспечение транспорта газа в оптимальных режимах в соответствии с непрерывно изменяющимися внешними воздействиями детерминированного (графики поставки) и стохастического (природного, сезонного) характера. При этом АСУ электроприводом должна обеспечивать плавный запуск газоперекачивающих агрегатов и регулирование производительности ком-

прессора в требуемом диапазоне изменения технологических параметров;

- *экономический* — окупаемость затрат на модернизацию системы электроснабжения и оборудования за счет эффектов строгого соблюдения графика газоподдачи, энергосбережения при регулировании и снижения аварийности. Наивысшая технико-экономическая эффективность АСУ может быть достигнута только с использованием преобразователей частоты с оптимальными законами управления и диагностики;

- *надежность*, включая долговечность (безаварийность в длительной перспективе) работы каждого элемента силовой схемы нагнетателя и непрерывную диагностику с системой прогнозирования неисправностей. Повышение надежности работы компрессорных станций достигается путем технического перевооружения и реконструкции системы электроснабжения 10 кВ с использованием современных систем диагностики, управления, релейной защиты и автоматики (РЗА).

- *автоматизация* — телемеханизация и диспетчеризация на уровне станции должна содержать полную информацию о состоянии нагнетателей, аппаратов воздушного охлаждения газа и других технологических установках, а также о технологических параметрах компрессорной станции для обеспечения эффективного регулирования производительности газоподдачи. Кроме того, она должна иметь возможность обмена информацией с другими станциями, в том числе имеющими газотурбинные агрегаты привода нагнетателей.

Примерами успешной реализации специалистами фирмы "Интермодуль" проектов и технических решений с использованием программно-технических средств и систем автоматизации в области АСУТП объектов промышленности, в том числе и объектов магистрального транспорта газа, являются:

- автоматизированный мягкий запуск и регулирование производительности турбокомпрессоров средствами высоковольтного частотно-регулируемого электропривода по оптимальному закону  $U/f^2 = \text{const}$ , (где  $U, f$  — параметры амплитуды и частоты напряжения питания двигателя), с функциями мониторинга и прогнозирования отказов;

- инвариантное управление вентиляторами аппаратов воздушного охлаждения газа, обеспечивающее автоматическую стабилизацию температуры газа на выходе компрессорной станции в условиях воздействия нескольких метеорологических и технологических возмущений стохастического характера;

- автоматизация систем отопления и вентиляции зданий и помещений производственно-энергетичес-

кого блока компрессорных станций, обеспечивающая комфортные климатические условия работы обслуживающему персоналу и оборудованию;

- внешнее электроснабжение компрессорных станций (вводные электросиловые шкафы, агрегатные электрощиты, аппараты ввода резерва и другое оборудование) с дистанционным управлением и мониторингом, обеспечивающее гарантированное питание всех систем, быстрое подключение резервных и аварийных источников электроснабжения;

- автоматизация станции управления технологическими линиями подготовки и нанесения защитных покрытий на стальные трубы с координацией работы семи электроприводов в энергоэффективном режиме с максимальной производительностью;

- оптимальное управление вспомогательными системами (насосами собственных нужд и охлаждения агрегатов, штатным и аварийным освещением и т.п.) с мониторингом в рамках АСУ компрессорной станции.

Рассмотрим некоторые из этих характерных реализаций.

**Автоматизация электроприводных газоперекачивающих агрегатов.** В настоящее время наиболее актуальной задачей эффективного транспорта газа является разработка и внедрение современных автоматизированных систем регулируемого электропривода компрессорных станций, обеспечивающих высокие характеристики по энергосбережению, увеличению ресурса и срок службы оборудования [1]. Особенно она важна для мощных энергоемких механизмов, к которым относятся турбокомпрессоры газоперекачивающих агрегатов, составляющие значительную часть оборудования, применяемого при транспортировке газа. Аппаратные и программные средства преобразовательной и микропроцессорной техники позволяют рационально решать эти задачи.

В настоящее время в ОАО "Газпром" решается актуальная задача по реконструкции компрессорных станций с электроприводными газоперекачивающими агрегатами. В этом случае предпочтение отдается частотно-регулируемым приводам с асинхронными электродвигателями, хотя данный вопрос требует глубокой проработки и проведения серьезных исследований. В этом направлении в ОАО "Газпром" уже имеется определенный опыт. Так, в 2004-2006 гг. был разработан проект реконструкции одной из электроприводных компрессорных станций [2], на которой установлены 10 электроприводных газоперекачивающих агрегатов. При реконструкции была предусмотрена замена существующих нерегулируемых электроприводов СТМ-4000 на регулируемые. В ходе проектной подготовки были выделены и проработаны следующие варианты реконструкции:

- замена существующих электродвигателей СТМ-4000 на КРЭП-6300 поставки ХК "Привод" (двигатели СТД-6300, преобразователи – поставки "Ансальдо-ВЭИ"),

- модернизация существующих электродвигателей (замена подшипников, изоляции и т.д.) с установкой регулируемого электропривода,

- установка трех (2+1) мотор-компрессоров МОРИСО вместо группы из пяти существующих СТМ-4000 (плавное регулирование производительности по одной нитке газопровода),

- установка пяти (4+1) мотор-компрессоров "МОРИСО" вместо существующих СТМ-4000.

Перспективным и целесообразным был признан вариант с установкой оригинальных мотор-компрессоров МОРИСО. Наиболее рациональный вариант реконструкции предполагает замену пяти существующих двигателей на три мотор-компрессора МОРИСО. Конструктивно агрегат МОРИСО состоит из асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и двух нагнетателей, выполненных в едином корпусе на одном валу. Оригинальными решениями такой конструкции является реализация системы активного магнитного подвешивания ротора двигателя и валов нагнетателей, обеспечивающей за счет эффекта левитации вращающихся частей и отсутствия подшипников значительное увеличение ресурса всего газоперекачивающего агрегата. Кроме того, применение высококачественной изоляции позволило производить охлаждение двигателя перекачиваемым газом. В результате данная система позволяет: плавно регулировать производительность газоподачи в широких пределах; оптимизировать капитальные вложения при максимальных технико-экономических показателях; отказаться от систем маслосмазки и уплотнений в подшипниках; в два раза сократить площади под привод при реконструкции с установкой высоковольтного преобразователя частоты и АСУ.

Высокоскоростной частотно-регулируемый электропривод для МОРИСО выполнен на основе инвертора напряжения на интеллектуальных IGBT-модулях (1300 В, 1600 А) с оригинальным многоуровневым ШИМ-формированием напряжения питания асинхронного двигателя. Применение новых силовых модулей совместно с конденсаторами, выполненных конструктивно с малыми индуктивностями рассеивания, позволяет ограничить пики напряжения на транзисторах. В электроприводе предусмотрена фильтрация высших гармоник на входе/ выходе, а также контроль  $du/dt$ .

АСУ электропривода МОРИСО выполнена по принципу организации САР, ориентированной по вектору потокосцепления ротора на базе мультипроцессорной системы управления, которая позволяет интегрировать локальные приводы в АСУТП и АСУ электроснабжением компрессорных станций. Системные решения при реализации АСУТП компрессорной станции с электроприводом позволяют оптимально и плавно регулировать производительность агрегатов с максимально возможными технико-экономическими показателями. Интеграция электроприводов в АСУ ЭС через систему управления микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики дает возможность автоматического дистанционного управления высоковольтными выключателями.

Разработанные адаптивные алгоритмы регулирования позволяют формировать оптимальные переходные процессы и снижать ударные значения моментов при резких и значительных изменениях нагрузки с недопустимым ускорением (например, при гидравлическом ударе в газопроводе). Разработаны алгоритмы управления и диагностирования оборудования, которые могут найти свое применение при реализации проектов по реконструкции КЦ с электроприводными газоперекачивающими агрегатами.

В 2007 г. в ЗАО "РЭП Холдинг" успешно завершилась разработка отечественного комплектного электроприводного газоперекачивающего агрегата ЭГПА-6,3/8200-56/1,44-Р, опытный образец которого прошел заводские приемочные испытания в соответствии с требованиями программ и методик испытаний электроприводных нагнетателей и их САУ.

**Аппараты воздушного охлаждения газа со стабильной выходной температурой.** Компримирование газа за счет политропной работы сжатия приводит к повышению его температуры на выходе. Высокая температура компримированного газа разрушает изоляционное покрытие, возникают продольные температурные напряжения и деформации трубопровода. Кроме того, снижается газоподача магистрали, ее пропускная способность и увеличиваются энергозатраты компримирования из-за роста объемного расхода.

Определенные специфические требования к охлаждению газа предъявляются в северных районах страны, где газопроводы проходят в зоне вечномерзлых грунтов. В этих районах газ необходимо охладить до отрицательных температур с целью недопущения протаивания грунтов вокруг трубопровода, что приводит к вспучиванию грунтов, смещению трубопровода и возникновению аварийной ситуации.

Таким образом, стабилизацией температуры на оптимальном уровне (вне зависимости от метеорологических, природных и технологических факторов) путем охлаждения газа после компримирования достигается [3]:

- увеличение производительности газопровода;
- улучшение работы антикоррозионной изоляции трубопровода;
- улучшение условий работы за счет снижения температурных напряжений в трубе;
- снижение вредного экологического воздействия на почву ("растепление грунтов").

Помимо этого, модернизация аппаратов воздушного охлаждения газа (АВОГ), связанная с оснащением их частотно-регулируемым электроприводом, включает из конструкции вентиляторов отклоняемые направляющие аппараты — элемент, снижающий экономичность и надежность аппаратов. Основные преимущества от использования частотно-регулируемых приводов в АВОГ:

- повышение надежности и экономичности систем воздушного охлаждения;
- стабилизация температурного режима и увеличение срока службы трубопроводов;

- экономия электроэнергии;
- адаптивные режимы работы и увеличение ресурса вентиляционного оборудования;
- исключение самовращения лопастей под действием конвекционных потоков.

Охлаждение технологического газа в АВОГ происходит за счет теплообмена между горячим газом в трубах и наружным воздухом. Глубина охлаждения компримированного газа ограничена температурой наружного воздуха, что особенно сказывается в летний период эксплуатации. Опыт эксплуатации АВОГ показывает, что снижение температуры газа в них достигает значений 15...25 °С.

При проектировании число АВОГ выбирается в соответствии с отраслевыми нормами ОНТП 51-1-85 и руководящими документами (методиками ООО ВНИИГАЗ) РД 153-39.0-112-01. На основании этих норм температура технологического газа на выходе из АВОГ должна быть <15°С от средней температуры наружного воздуха. Уменьшение температуры технологического газа, поступающего в газопровод после его охлаждения, приводит к уменьшению средней температуры газа на линейном участке трубопровода и увеличению давления газа на входе в последующую станцию. Это приводит к уменьшению степени сжатия на ней и энергозатрат на компримирование газа. В соответствии со статистическими данными средних температур окружающего воздуха для различных регионов разработаны точные графики оптимальных температур газа линейно-производственных управлений.

Однако процедура реализации данного технологического регламента и задач регулирования температуры газа на выходе не автоматизирована и решается путем включения определенного числа вентиляторов. Во многих случаях управление АВОГ производится по командам диспетчера вручную с местных пультов управления, расположенных перед аппаратами. Контроль состояния АВОГ также производится путем обхода и осмотра оборудования с фиксацией отказов и наработки по записям в формулярах и оперативных журналах. Эффективность управления АВОГ при такой организации эксплуатации компрессорных станций зависит от опыта и квалификации персонала, то есть субъективных факторов. В условиях значительных колебаний температуры и влажности воздуха (даже в течение суток), влияющих на процесс охлаждения газа, такое управление приводит к ошибкам поддержания оптимальной температуры газа и нерациональным затратам электроэнергии.

Суммарная мощность, потребляемая двигателями вентиляторов АВОГ в номинальном режиме одного компрессорного цеха, составляет сотни киловатт, что оказывает существенное влияние на общее энергопотребление магистрального газопровода, особенно с приводом нагнетателей от газотурбинных двигателей. Ежегодный расход электроэнергии на охлаждение компримированного газа может составлять 60...70% общего потребления на транспорт газа. Поэтому повы-

шение эффективности и надежности работы АВОГ путем автоматической оптимизации температурных параметров средствами автоматизированного частотно-регулируемого электропривода вентиляторов является важным фактором экономии топливно-энергетических ресурсов и снижения стоимости транспорта газа.

Разработанная АСУ вентиляторов АВОГ позволяет обеспечить:

1) непрерывность работы (суточную, сезонную, годовую) в продолжительном режиме *SI* со спокойным характером нагрузки. При этом исключаются пускотормозные режимы, которые даже при наличии мягких пускателей приводят к дополнительному энергопотреблению и снижению срока службы изоляции обмоток двигателей;

2) высокий технико-экономический эффект при регулировании вентиляторной нагрузки по закону  $U/f^2 = \text{const}$ , который обусловлен квадратичным снижением момента и кубическим снижением потребляемой мощности при снижении скорости вращения вентилятора АВОГ. Так, при требуемом снижении скорости вентилятора в 3 раза, нагрузка на привод падает в 9 раз, а потребляемая мощность – в 27 раз. То есть двигатель вместо 100 кВт будет потреблять только 3,7 кВт, а 96% мощности экономится;

3) возможность автоматически отслеживать случайные метеорологические и технологические изменения параметров, действующих на АВОГ, и адекватно им задавать скорость  $\omega$ , вентиляторов. Это позволяет корректировать охлаждающую способность АВОГ по управляющим алгоритмам в функции основных стохастических возмущений и обеспечивать ее инвариантность при любых параметрах воздействий;

4) возможность работы вентиляторов даже в зимний сезон на низких ("ползучих") скоростях, т.к. остановка их даже на непродолжительное время крайне нежелательна из-за переувлажнения обмоток двигателя, возможности разрушения подшипников и редуктора, а также "схлопывания" воздушного потока над АВОГ и образования наледи на лопастях вентиляторов;

5) стабилизацию главного технологического параметра АВОГ – температуры газа на выходе компрессорной станции путем ПИ-регулирования скорости вращения вентилятора в замкнутой САР при установленном оптимальном режиме охлаждения;

6) непрерывный мониторинг, диагностирование и прогнозирование работы оборудования АВОГ с использованием алгоритмов *fuzzy-logic*, реализованных на объектно-ориентированном языке Visual Basic с использованием среды разработки ADAMView;

7) возможность интегрирования локальных АВОГ в единую АСУТП и транспорта газа в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 14764-2002 и ОС Windows NT для мониторинга и управления с рабочего места оператора на ПК аппаратной частью комплекса автоматизации.

Реализация функций инвариантного управления является определяющей и предполагает применение

для обработки и формализации данных статистических методов, входящих в общую теорию планирования эксперимента [4]. Опыт эксплуатации АВОГ показывает, что наибольшее влияние на процесс охлаждения газа оказывают колебания значений четырех параметров:

- температуры окружающего воздуха  $\theta$ , изменяющейся в диапазоне  $\pm 40$  °С, и его влажности  $\beta = 30 \dots 100$  %;
- температуры газа на входе или перепада температур до и после компримирования  $\Delta t = 15 \dots 25$ °;
- массового расхода газа (производительность газопровода)  $Q$ ;

При разработке новых и модернизации существующих АВОГ обработка исходных экспериментальных данных прототипа относится к задачам первого случая, а их анализ на действующей компрессорной станции и корректировка – ко второму. Так как скорость вращения  $\omega$  вентилятора АВОГ задается в условиях одновременного случайного изменения всех параметров, для получения стабильной температуры охлажденного газа  $t_2$  необходимо: получить и обработать достоверную информацию с соответствующих датчиков в цикле; вычислить оптимальную скорость вращения вентилятора по аналитическим регрессионным алгоритмам; скорректировать ее путем стабилизирующего действия обратной связи по выходной координате, то есть температуре охлажденного газа. Численные значения для индивидуальных АВОГ получаются методами регрессионного анализа.

**Автоматизация температурных режимов систем отопления и вентиляции.** Специфика функционирования станций контроля и управления магистральных газопроводов выдвигает ряд специальных требований к эксплуатации систем зданий, расположенных на территории ЛПУМГ. Например, при срабатывании датчиков пожарной сигнализации часть системы приточно-вытяжной вентиляции должна быть полностью обесточена, и все воздушные заслонки закрыты, а часть системы, подающая воздух в аккумуляторную, должна оставаться в рабочем состоянии. ООО "Интермодуль" в 2007-2008гг. разработаны системы приточно-вытяжной вентиляции для зданий компрессорных станций газопроводов Уренгой-Ужгород и Ямбург-Елец2.

В состав системы входят две подсистемы приточной и вытяжной вентиляции. В техническое задание на систему вентиляции включено:

- дистанционный и автоматический пуск и останов вентиляторов, сигнализация их работы;
- регулирование температуры приточного воздуха изменением теплопроизводительности воздухонагревателя, то есть управление циркуляционным насосом и регулирование сервопривода смесительного вентиля. Насос обеспечивает постоянную циркуляцию воды в обогревателе. Вентиль с сервоприводом обеспечивает регулирование температуры смешением воды из обратного контура обогревателя и горячей воды. Чтобы во время регулирования не произошло полной

остановки потока воды в тепловом контуре, узел оборудован байпасом;

- активная защита воздухонагревателя от замерзания. При падении температуры в обратном контуре ниже критической система формирует команду на выключение вентилятора, закрытие заслонки и полное открытие смесительного вентиля для максимального напора горячей воды;

- контроль температуры наружного воздуха перед обогревателем, температуры приточного воздуха после вентиляторов, температуры обратного контура водяного обогревателя;

- контроль засорения воздушного фильтра посредством датчика давления;

- отключение вентиляторов и закрытие воздушных заслонок при срабатывании датчиков пожарной сигнализации, кроме той части системы приточной вентиляции, которая обеспечивает подачу воздуха в аккумуляторный цех;

- запуск резервного вентилятора при аварийном отключении основного вентилятора системы.

В качестве исполнительных механизмов в системе вентиляции использованы компоненты, производимые фирмой Remake: датчики температуры типа Ni 1000 NS 120; дифференциальные датчики давления P33N; смесительные узлы SUMX 40-2,5; водяные обогреватели VO 50-25/3R; воздушные заслонки с сервоприводами LKSF 50-25/230; циркуляционные насосы UPS 25-40.

Работа системы в автоматическом режиме реализована с помощью программируемого контроллера MC8, трехрелейных модулей MR8 и интерфейса связи RS-485 между контроллером и исполнительными механизмами, входящими в систему. Конструктивно это устройство выполнено в виде шкафа Prisma Plus производства Schneider Electric, который содержит контроллер, релейные модули, блоки питания. Программирование контроллера производится в графической среде Конграф с помощью функциональных блоков.

Реальные аналоговые и дискретные входы контроллера и релейных блоков обозначаются красными прямоугольниками, а зелеными линиями — виртуальные входы/выходы, передающие команды по интерфейсу

RS-485. Реальные входы/выходы контроллера подключаются к исполнительным механизмам системы.

Использование автоматизированной системы, учитывающей жесткие требования эксплуатации, позволяет значительно улучшить технические характеристики системы приточно-вытяжной вентиляции зданий компрессорных станций газопроводов. В настоящее время этой системой оснащены два из шести КЦ КС-24 Сеченовского ЛПУМГ (ООО "Газпром трансгаз Нижний Новгород").

### Выводы

1. Применение современных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов в качестве локальных систем автоматизации объектов магистрального транспорта газа позволяет обеспечить основные технологические требования и эффективные показатели энергосбережения и надежности их работы.

2. Автоматическая стабилизация параметров ТП в условиях изменяющихся стохастических возмущений достигается использованием инвариантных структур электроприводов с адаптивными регрессионными алгоритмами.

3. Реализация комплекса требований по обеспечению функциональных возможностей объектов и систем компрессорных станций обеспечивается интеграцией локальных подсистем в рамках АСУТП с функциями мониторинга, телемеханики и диспетчеризации.

### Список литературы

1. *Захаров П.А., Захаров М.А.* К вопросу о надежности электроприводного газоперекачивающего агрегата // Вестник ИГЭУ. Вып. 3. Иваново. 2007.
2. *Анкин Д.А., Крюков О.В.* Энергосбережение в электроприводе турбокомпрессора газоперекачивающего агрегата // Труды IV Международной конференции по автоматизированному электроприводе. Магнитогорск, 2004. ч. II.
3. *Алимов С.В., Лифанов В.А., Миатов О.Л.* Аппараты воздушного охлаждения газа: опыт эксплуатации и пути совершенствования // Газовая промышленность, 2006, №6, с.54-57.
4. *Крюков О.В., Киянов Н.В.* Электрооборудование и автоматизация водооборотных систем предприятий с вентиляторными градирнями: монография / Нижегород. гос. техн. ун-т., Нижний Новгород. 2007.

*Захаров Петр Алексеевич* — канд. техн. наук, начальник Управления по сопровождению эксплуатации объектов ЕСТ ДООАО "Оргэнергогаз", *Киянов Николай Викторович* — генеральный директор, *Крюков Олег Викторович* — канд. техн. наук, технический директор ООО "Интермодуль".

Контактные телефоны: (831) 2-184-183; 2-189-203.

E-mail: o.kryukov@intermodul.nnov.ru [Http://www.intermodul.ru](http://www.intermodul.ru)

### "РТСофт" и General Electric Fanuc — официальные партнеры

В марте 2008 г. между ЗАО "РТСофт" и компанией GE Fanuc Intelligent Platforms заключено соглашение, по которому "РТСофт" становится официальным дистрибутором GE Fanuc Intelligent Platforms в России. На протяжении многих лет компания "РТСофт" являлась партнером таких известных мировых производителей в

области встраиваемых компьютерных технологий, как Radstone, VMIC, Condor, RAMIX и др., вошедших ныне в состав GE Fanuc Intelligent Platforms. Благодаря работе по оптимизации каналов поставок, проведенной GE Fanuc Intelligent Platforms, "РТСофт" стал ее официальным партнером в России.

[Http://www.rtssoft.ru](http://www.rtssoft.ru)