

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНВАРИАНТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Главной задачей эффективного транспорта газа является обеспечение требуемой производительности компрессорных станций в условиях изменяющихся условий подачи и потребления газа. Это необходимо для поддержания оптимального давления в магистральном газопроводе и обеспечения надежной работы газотранспортной системы [1]. Данная задача требует системного 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 нагнетателей должна обеспечивать пуск газоперекачивающих агрегатов и регулирование производительности компрессора в требуемом диапазоне изменения технологических параметров с помощью вспомогательных систем с электроприводами;
- *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 [2];
- *надежность*, включая долговечность 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 систем диагностики, релейной защиты и автоматики.
- *автоматизация* – телемеханика 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 для обеспечения эффективного регулирования производительности газоподдачи. Кроме того, она должна иметь возможность обмена информацией с другими станциями.

Примерами успешной реализации проектов и технических решений с использованием программно-технических средств и систем автоматизации 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  $U, f$  – амплитуда и частота напряжения питания двигателя), с мониторингом и прогнозированием 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-энергетического 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.

Наиболее инновационной является задача реализации инвариантного управления электроприводами с вентиляторной нагрузкой, работающих в условиях многофакторных случайных возмущений. Рассмотрим её решение на примере аппаратов воздушного охлаждения газа (АВОГ).

Как известно, компримирование газа за счет политропной работы сжатия приводит к повышению его температуры на выходе, что приводит к разрушению изоляционных покрытий, продольным температурным напряжениям и деформации трубопровода [3]. Кроме того, снижается газоподача магистрали, ее пропускная способность и увеличиваются энергозатраты на сжатие из-за роста объемного расхода. Определенные специфические требования к охлаждению газа предъявляются в северных районах России, где газопроводы проходят в зоне вечномёрзлых грунтов, где газ необходимо охлаждать до отрицательных температур с целью недопущения протаивания грунтов вокруг трубопровода и смещению трубопровода с возникновением аварийной ситуации.

Таким образом, стабилизацией газа температуры на оптимальном уровне (вне зависимости от метеорологи-

ческих, природных и технологических факторов) достигается увеличение производительности газопровода, улучшение работы антикоррозионной изоляции и условий работы за счет снижения температурных напряжений в трубе, а также снижение вредного экологического воздействия на почву. Помимо этого, модернизация АВОГ, связанная с оснащением их частотно-регулируемым электроприводом, исключает из конструкции вентиляторов отклоняемые направляющие аппараты – элемент, снижающий экономичность и надежность аппаратов. 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, чтобы температура технологического газа на выходе из АВОГ должна быть <15°С от средней температуры наружного воздуха. 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 диспетчером вручную с местных пультов управления. Эффективность управления АВОГ при этом зависит от субъективных факторов и в условиях значительных колебаний температуры и влажности воздуха приводит к ошибкам и нерациональным затратам электроэнергии.

Разработанная АСУ вентиляторов АВОГ [4] позволяет обеспечить:

1) непрерывность работы (суточную, сезонную, годовую) в продолжительном режиме *SI* со спокойным характером нагрузки. При этом исключаются пуско-тормозные режимы, которые даже при наличии мягких пускателей приводят к лишнему 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.

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 обеспечить 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 нежелательна из-за переувлажнения обмоток, возможности разрушения подшипников и «схлопывания» воздушного потока над АВОГ и образования наледи на лопастях вентиляторов;

5) стабилизацию температуры газа на выходе компрессорной станции путем ПИ-регулирования  $\omega$ , в замкнутой САР при установленном оптимальном режиме охлаждения;

6) непрерывный мониторинг, диагностирование и прогнозирование работы оборудования АВОГ с использованием генетических 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 средой 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 показал, что наибольшее влияние на процесс охлаждения газа оказывают колебания значений четырех параметров: температуры окружающего воздуха  $\theta$ , изменяющейся в диапазоне  $\pm 40^\circ\text{C}$ , и его влажности  $\beta = 30 \dots 100\%$ ; температуры газа на входе или перепада температур до и после компримирования  $\Delta t = 15 \dots 25^\circ$ ; массового расхода газа (производительность газопровода)  $Q$ . 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 информацию со всех датчиков; вычислить оптимальную  $\omega$ , по регрессионным алгоритмам; скорректировать ее путем стабилизирующего действия обратной связи по температуре охлажденного газа. Численные значения для индивидуальных АВОГ получаются методами регрессионного анализа.

#### Список использованной литературы

1. Захаров П.А., Захаров М.А. К вопросу о надежности электроприводного газоперекачивающего агрегата // Вестник ИГЭУ. Выпуск 3. Иваново, 2007, с. 6-8.
2. Аникин Д.А., Крюков О.В. Энергосбережение в электроприводе турбокомпрессора газоперекачивающего агрегата // Труды IV Международной (XV Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу "Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития". Магнитогорск, 2004. ч. II, с. 241-243.
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., Кышов Н.В. Электрооборудование и автоматизация водооборотных систем предприятий с вентиляторными градирнями: монография / Нижегород. гос. техн. ун-т, Нижний Новгород, 2007. – 260с.