



АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ПРИВОДНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

С.А. Бабичев (ООО "Газпром трансгаз Нижний Новгород"),
П.А. Захаров (ДОО "ОРГЭНЕРГОГАЗ"), О.В.Крюков (ООО "Интермодуль")

Рассмотрены современные методы проектирования и создания встроенных систем мониторинга и прогнозирования технического состояния электроприводных агрегатов мегаваттного класса на примере синхронных машин нагнетателей компрессорных станций. Приведен статистический анализ повреждаемости и эксплуатационных факторов старения изоляции статорных обмоток электродвигателей газоперекачивающих агрегатов. Представлен пример автоматизированной системы оперативного мониторинга синхронного двигателя СТД-12500 на основе инновационных систем электрооборудования и АСУТП.

Ключевые слова: компрессорная станция, приводной электродвигатель, оперативный мониторинг эксплуатационных факторов, встроенная система мониторинга и прогнозирования технического состояния.

Развитие аппаратной базы систем автоматизации и компьютерных технологий позволяет реализовывать новые системы и алгоритмы эксплуатации не только отдельных видов оборудования или автономных объектов, но и комплекса сложных систем, к которым можно отнести компрессорные станции (КС) магистральных газопроводов ОАО "Газпром". АСУ КС, построенные на базе современных вычислительных комплексов, позволяют решать главные задачи транспорта газа — повышение надежности и долговечности функционирования, энергетической эффективности и безопасности эксплуатации сложного и дорогостоящего технологического оборудования. Поэтому процессу непрерывного совершенствования системы мониторинга КС и реализации автоматизированных систем контроля, управления и диагностики на основе компьютерной техники уделяется большое внимание при внедрении эффективных технологий эксплуатации оборудования КС.

Требования по оснащению системами мониторинга основного технологического оборудования КС содержится в [1, 2]. Правила эксплуатации регламентируют осуществлять контроль работоспособности, надежности и безопасности оборудования КС с помощью технических и программных средств мониторинга и диагностики. Они должны с требуемой достоверностью производить оценку технического состояния оборудования КС и прогнозировать его изменение не менее чем за период до следующего проведения измерений. Установка систем мониторинга и диагностики должна обеспечиваться при новом строительстве и реновации КС, а также в процессе модернизации эксплуатируемых КС. Вводимые в эксплуатацию полнофункциональные системы должны обеспечивать работу с учетом реального фактического состояния каждого вида, типа и конкретного объекта диагностируемого оборудования.

В ОАО "Газпром" в настоящее время ведется модернизация систем автоматики электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА). В частности,

на КС ООО "Газпром трансгаз Нижний Новгород" старые релейные и аналоговые системы автоматического управления (САУ) ЭГПА типа Электра 2-2 и А-705-15 заменяются на современные микропроцессорные САУ ЭГПА типа КРУГ-2000, САУ КАРАТ-М. Однако эти системы в основном позволяют реализовывать управление и контроль над процессами, происходящими в механической и технологической части газоперекачивающего агрегата и практически не позволяют анализировать режимы работы приводного электродвигателя. В большей степени системный контроль технического состояния ЭГПА 12,5 обеспечивают средства локальной автоматики, которые рассматриваются и реализованы в [3, 4]. Однако и они имеют ряд недостатков, в частности, электрические параметры работы электродвигателя выдаются оператору в качестве факта (текущего состояния), без анализа параметров в динамике и во взаимосвязи с другими неэлектрическими и технологическими параметрами агрегата, такими как температура окружающей среды, производительность нагнетателя и пр.

В соответствии с [1,4] современная САУ ЭГПА предназначена для выполнения функций автоматического управления, регулирования, контроля и защиты, обеспечивая длительную безаварийную работу газоперекачивающего агрегата как во взаимодействии с САУ компрессорного цеха (КЦ), так и в автономном режиме (при отсутствии или неработоспособности САУ КЦ), а также реализации функций:

- повышения эксплуатационной готовности агрегата и точности выполнения заданий диспетчерского управления;
- обеспечения совместно с системой пуска электродвигателя маневренности агрегата по вводу/выводу его в/из трассы;
- повышения уровня автоматизации агрегата и совершенствования форм автоматизированного управления электроприводными КЦ;

- повышения надежности и долговечности работы синхронного электродвигателя агрегата и сокращения затрат на его ремонты;
- обеспечения достоверности показаний измеряемых параметров и точности срабатывания защит;
- сокращения ошибок оперативного персонала и численности обслуживающего и ремонтного персонала;
- сокращения сроков ввода и освоения эксплуатирующим персоналом аппаратной и программной частей САУ ЭГПА;
- диагностики технического состояния и расчета ресурса ЭГПА методами моделирования объекта и неразрушающего контроля;
- снижения отрицательного воздействия ТП компримирования газа на окружающую среду.

Приведенные требования содержат рекомендацию о необходимости включения в функции САУ ЭГПА контроля технического состояния синхронного электродвигателя, однако эти функции основаны на принципах вибродиагностики и определяют только техническое состояние ротора и подшипников. Вместе с тем наиболее дорогостоящим и ответственным элементом ЭГПА является статор синхронного электродвигателя, состоящий из высоковольтных обмоток переменного тока. Выход статора из строя приводит к выводу ЭГПА в ремонт на время до 7...8 тыс. ч. Стоимость ремонта в зависимости от тяжести повреждения может составлять до 50...70% от стоимости новой электрической машины. Таким образом, определение и оперативный контроль технического состояния данного элемента ЭГПА представляет собой актуальную, хотя и достаточно сложную задачу в связи с непрерывной работой оборудования под высоким напряжением.

Существуют отраслевые теоретически обоснованные методы диагностики состояния высоковольтных электрических машин, особенно в области эксплуатации мощных синхронных генераторов на электростанциях различного типа. Все эти технологии мониторинга технического состояния можно разделить на методы функциональной и тестовой диагностики технологического оборудования.

При определении состояния изоляции обмоток статора синхронного электродвигателя эксплуатационным персоналом применяются периодические (при выводе ЭГПА в средний и капитальный ремонт) высоковольтные испытания повышенным напряжением, измерение сопротивления изоляции (R60) мегомметром и контроль коэффициента абсорбции (R60/R15) изоляции перед пуском ЭГПА. Для испытаний статора электродвигателя напряжением промышленной частоты из-за значительной емкости его обмотки требуется специальный трансформатор мощностью 25...30 кВА, который на КС в штатной эксплуатации не предусмотрен.

В связи с этим для высоковольтных испытаний используются испытательные установки типа АИ-70 и АИД-70, которые из-за недостаточной мощности

позволяют проводить испытания статора только на выпрямленном напряжении. В связи с особенностью воздействия постоянного напряжения на изоляцию, уровень выпрямленного испытательного напряжения выбирается не выше 10...14 кВ, что соответствует ~7...10 кВ. При таких уровнях напряжения даже при дефектной изоляции электродвигатель выдерживает испытания и в дальнейшем получает пробой изоляции во время работы. Измерение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции также недостаточно эффективен и позволяет определить только грубые дефекты в изоляции, когда двигатель практически уже не исправен. Кроме того, в соответствии с отраслевым Регламентом [1] средний ремонт ЭГПА 12,5 выполняется при наработке 12 тыс. ч, капитальный при 24 тыс. ч, а средняя наработка одного ЭГПА в год составляет 3...5 тыс. ч. Таким образом, интервал между высоковольтными испытаниями может составлять 2...3 года. Все испытания и измерения тестовой диагностики выполняются на оборудовании, выведенном в ремонт и имеющим характеристики в значительной степени, отличающиеся от реальных рабочих, в связи с чем определить реальное состояние статора электродвигателя и спрогнозировать его изменение практически невозможно.

Из методов функциональной диагностики синхронных генераторов и мощных электродвигателей в настоящее время широко используются методы мониторинга в режиме РВ, основанные на анализе характерных для определенных неисправностей частот, выделяемых из электрических сигналов, тока, напряжения, мощности и вибрации.

Вибрационный мониторинг применяется в энергетике и нефтегазовой промышленности, в том числе и на ГПА различных типов, и позволяет достаточно оперативно определять механические дефекты и прогнозировать изменение технического состояния механических узлов различного оборудования КС. Однако системы вибрационного мониторинга практически не позволяют определять техническое состояние обмоток и активной стали статора синхронного электродвигателя.

Для контроля электрической части высоковольтного электрооборудования и электрических машин в зарубежной и отечественной практике успешно используются методы локализации разрядных явлений. В первую очередь — это определение состояния изоляции электрических машин методом измерения амплитуды и интенсивности частичных разрядов. Частичный разряд (ЧР) — это искровой разряд малой мощности, который образуется внутри изоляции или на ее поверхности в оборудовании среднего и высокого напряжения. С течением времени периодически повторяющиеся ЧР разрушают изоляцию, приводя в конечном итоге к ее пробоям. Таким образом, регистрация ЧР, оценка их мощности и повторяемости, а также локализация места их возникно-

вения, позволяет своевременно выявить развивающиеся повреждения изоляции и принять необходимые меры для их устранения. Измерение ЧР в электрических машинах производится несколькими методами:

- непосредственного измерения тока образуемого ЧР с помощью высоковольтного конденсатора связи (емкостью порядка 80 пФ);

- измерения высокочастотного (до 500 МГц) электромагнитного импульса от разряда при помощи высокочастотных антенн.

Для этого выпускаются различные системы мониторинга ЧР, такие как IRIS POWER (Канада), "Вибро-Центр" (г. Пермь), "ДИАКС" (Москва) и др. Но, несмотря на все многообразие существующих методов определения технического состояния приводных электродвигателей, организация мониторинга должна быть оптимальной с точки зрения числа вводимых дополнительных датчиков и оборудования, определяющих в конечном итоге стоимость этих систем.

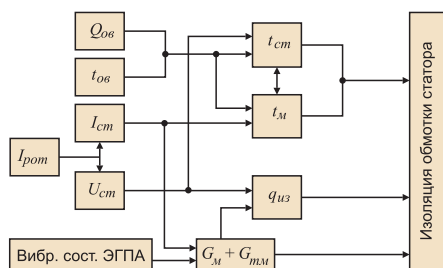


Рис. 1. Функциональная схема взаимодействия рабочих параметров электродвигателя на ресурс изоляции статора, где $Q_{ов}$ – объем охлаждающего воздуха, $t_{ов}$ – температура охлаждающего воздуха, $t_{ст}$ – температура стали, $t_{м}$ – температура меди, $I_{ст}$ – ток статора, $U_{ст}$ – напряжение статора, $I_{рот}$ – ток ротора (возбуждения), $q_{из}$ – интенсивность частичных разрядов в изоляции, $G_{м} + G_{мм}$ – механические и термомеханические нагрузки на изоляцию статора

Как было отмечено, современные САУ ЭГПА, даже имея результаты замеров многочисленных электрических и технологических параметров, не проводят комплексного анализа текущих режимов работы электродвигателя в их взаимосвязи с другими параметрами работы газоперекачивающего агрегата. В условиях реальной эксплуатации ЭГПА, практически без дополнительных датчиков, предлагается использовать метод функциональной диагностики, основанный на анализе взаимодействия основных параметров работы электродвигателя.

Основными факторами, влияющими на ресурс изоляции электрических машин, являются рабочая температура обмоток, напряжения в нормальных и переходных режимах работы электродвигателя и сети, механические и термомеханические нагрузки на обмотку.

Авторами был проведен анализ работы высоковольтных синхронных электродвигателей ЭГПА на КС ООО "Газпром трансгаз Нижний Новгород" в

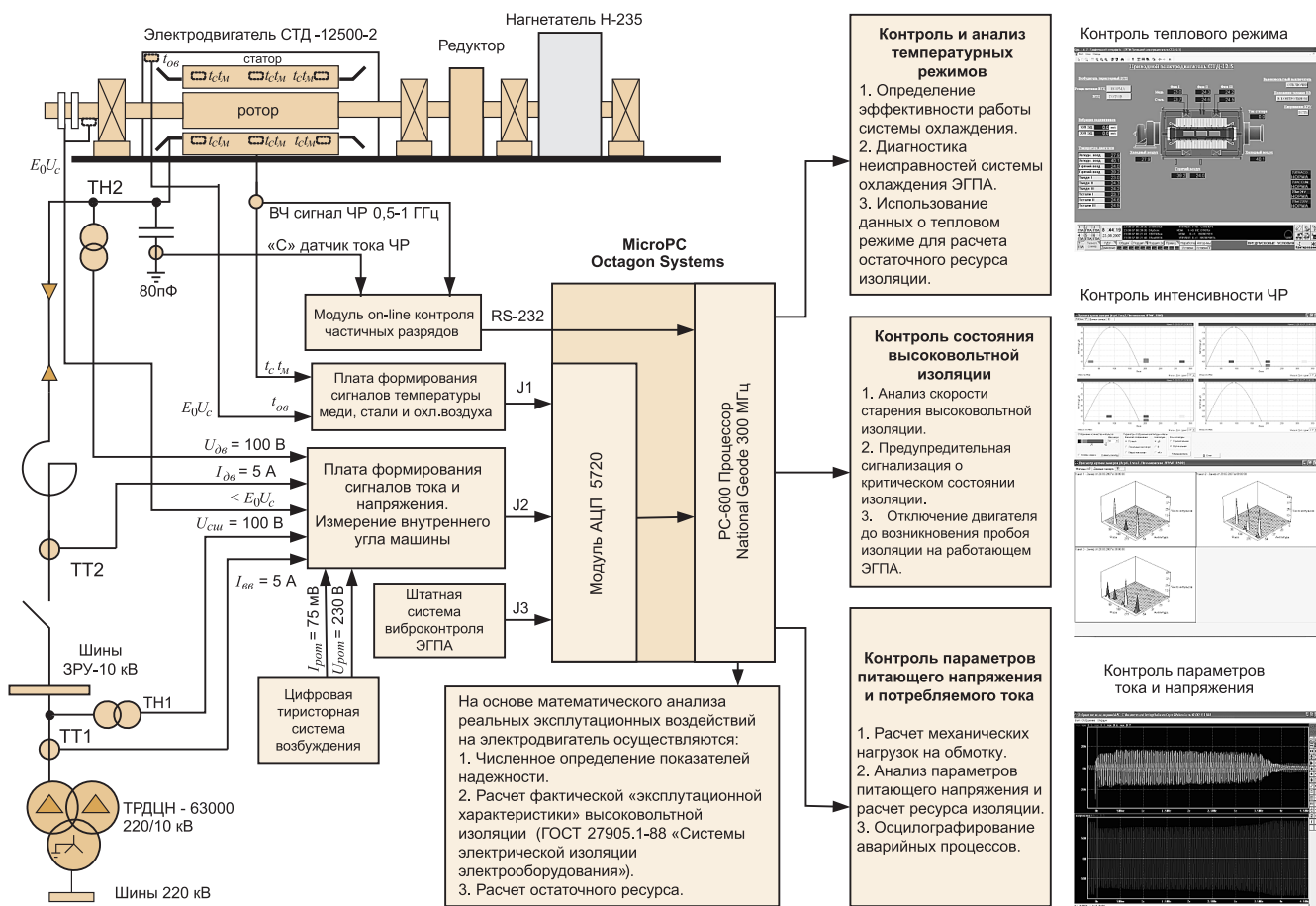


Рис. 2. Структурная схема системы оперативного мониторинга ЭГПА

различных режимах [5, 6], и составлена функциональная схема (рис. 1) взаимодействия основных рабочих параметров на ресурс изоляции обмотки статора. На основе логических взаимосвязей этих параметров, разработаны алгоритмы, позволяющие оперативно определять техническое состояние электродвигателя ЭГПА.

В качестве примера ниже приведено описание алгоритма работы одного из модулей контроля температурного режима электродвигателя ЭГПА. Исходными данными для определения эффективности работы системы охлаждения являются следующие параметры:

- температура меди и стали;
- температура холодного воздуха на входе в систему охлаждения;
- фазные токи электродвигателя и напряжения питания;
- активная и реактивная мощность электродвигателя;
- ток возбуждения синхронной машины.

Основным параметром в анализе температурного режима является температура меди и стали электродвигателя. На первом этапе проверяется условие $t_{cm} > t_m$. Если температура меди выше, следующее условие — превышает ли текущее значение температуры меди значение предшествующего замера за установленный период интегрирования. Таким образом, определяется тенденция увеличения температуры. Если такая тенденция прослеживается, далее выполняется анализ других факторов с целью определения причин нагрева. В первую очередь проводится анализ токовой нагрузки с учетом тепловой инерции обмотки. Если причина увеличения температуры меди связана с увеличением тока, то алгоритм проверяет, не связано ли увеличение тока с уменьшением напряжения питания.

Если причина увеличения тока не связана с напряжением питания, следующим шагом осуществляется проверка увеличения потребляемой электродвигателем мощности. Цикл контроля тенденций изменения параметров замыкается на определенном значении превышения температуры охлаждающего воздуха над температурой обмотки, после чего выдается аварийный сигнал. При определении тенденции к превышению температуры в стали над температурой в меди, алгоритм устанавливает причину нагрева стали. При обнаружении несоответствия установленных алгоритмом условий взаимодействия параметров, выдается предупреждение о неисправности в системе охлаждения. Подобные алгоритмы разработаны и для

других параметров мониторинга статорной обмотки электродвигателя.

На основе описанных алгоритмов разработана компьютерная система оперативного мониторинга и прогнозирования технического состояния приводного электродвигателя ЭГПА, структурная схема которой представлена на рис. 2. Подобная система может интегрироваться в качестве подсистемы в комплекс САУ ЭГПА.

Система содержит несколько основных информационно-измерительных модулей, непосредственно формирующих аналоговые сигналы для дальнейшей их обработки:

- модуль формирования сигналов тока, напряжения и расчета вращающего момента электродвигателя на основе датчика внутреннего угла машины;
- модуль формирования сигналов от температурных датчиков обмоток, стали и охлаждающего воздуха.

Кроме того, некоторые сигналы система получает от внешних устройств — это данные об интенсивности ЧР и вибрационном состоянии электродвигателя. В качестве обрабатывающего микропроцессора применен промышленный компьютер Micro PC фирмы Octagon Systems. На основе получаемых и обрабатываемых системой данных оперативно и адекватно определяется не только текущее техническое состояние параметров приводного электродвигателя, но и прогнозируется его изменение в ближайшей перспективе.

Список литературы

1. Правила технической эксплуатации магистральных газопроводов // Ведомственный руководящий документ ВРД 39-1.10-006-2000. М.: 2002.
2. Захаров П.А., Киянов Н.В., Крюков О.В. Системы электрооборудования и автоматизации для эффективного транспорта газа // Автоматизация в промышленности, 2008, №6.
3. Аникин Д.А., Рубцова И.И., Крюков О.В., Киянов Н.В. Проектирование систем управления ЭГПА // Газовая промышленность. 2009. №2.
4. Зимин В.А., Голиков С.А., Медведев В.А. Требования к современным САУ ЭГПА и опыт их реализации // Промышленные АСУ и контроллеры. 2006. №10.
5. Бабичев С.А. Комплексный анализ условий эксплуатации изоляции обмоток статоров электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Вестник ИГЭУ. 2009. Вып. 2.
6. Захаров П.А., Крюков О.В., Киянов Н.В. Встроенная система диагностирования и прогнозирования электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Контроль. Диагностика. 2008. №11.

Бабичев Сергей Александрович — ведущий инженер ООО "Газпром трансгаз Нижний Новгород",

Захаров Петр Алексеевич — канд. техн. наук,

начальник Управления по сопровождению эксплуатации объектов ЕСГ ДОО "Оргэнергогаз",

Крюков Олег Викторович — канд. техн. наук, директор по развитию ООО "Интермодуль".

Контактные телефоны: (831) 4-284-183; 4-289-203; 2-784-781; 2-784-808.

Http:www.intermodul.ru E-mail: o.kryukov@intermodul.nnov.ru