

# Газовая промышленность

ISSN 0016-5581

спецвыпуск

700 / 2013



**Диагностика и ремонт  
на транспорте углеводородов**



# Метод измерения частичных разрядов при техническом диагностировании высоковольтного электрооборудования объектов газотранспортной системы

**В.В. Гоголюк** (ОАО «Газпром», РФ, Москва), **И.В. Ахременко**, **Б.Л. Житомирский**, **А.И. Трегубов** (ОАО «Оргэнергогаз», РФ, Москва), **С.А. Бабичев** (ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», РФ, Нижний Новгород), **Д.С. Пряхин** (ЗАО «МТК Бизнес. Оптима», РФ, Москва)  
E-mail: dovalgo@oeg.gazprom.ru

**В энергохозяйствах дочерних обществ ОАО «Газпром» широко применяются различные методы контроля технического состояния, поиска места и определения причин отказов (неисправностей) высоковольтного электрооборудования. Кроме того, при эксплуатации сложного и дорогостоящего энергетического оборудования ОАО «Газпром», а также оборудования энергохозяйства, безопасность использования которого контролируется органами Ростехнадзора, находят применение методы прогнозирования технического состояния. Использование средств прогнозирования технического состояния может обеспечить и оперативный контроль (мониторинг) параметров технического состояния энергетического оборудования, а в ряде случаев – определение причин его неисправностей. В данной статье рассмотрены возможности метода измерения частичных разрядов и характерные примеры диагностирования высоковольтного электрооборудования на объектах ОАО «Газпром».**

**Measurement of internal discharge under diagnostics of high-voltage equipment of gas pipeline systems**

V.V. Gogolyuk (OAO Gazprom, RF, Moscow), I.V. Akhremenko, B.L. Zhitomirskiy, A.I. Tregubov (OAO Orgenergogaz, RF, Moscow), S.A. Babichev (OOO Gazprom Transgaz Nizhny Novgorod, RF, N. Novgorod), D.S. Pryakhin (ZAO MTK Business.Optima, RF, Moscow)  
E-mail: dovalgo@oeg.gazprom.ru

Various high-voltage equipment status monitoring, flaw location, and outage sourcing methods are commonly employed across Gazprom. In addition, operation of complex and costly energy equipment and other utilities, with all under Rostekhnadzor safety supervision, mandates Gazprom to use a range of prediction methods and tools. Employment of such tools offers timely monitoring and, in some cases, helps to identify potential causes of equipment outage. This paper addresses opportunities involved in measurement of internal discharge and highlights typical examples of high-voltage equipment diagnostics across Gazprom.

**Key words:** internal discharge, diagnostics, energy equipment, operating safety, supervision, control, prediction, outage.

*Ключевые слова:* техническое состояние оборудования, метод измерения частичных разрядов (ЧР), эпоксидно-слюдяные конденсаторы, электроприводные газоперекачивающие агрегаты.

Основным недостатком практического применения методов прогнозирования технического состояния энергетического оборудования на объектах ОАО «Газпром» относятся:

- использование методов прогнозирования технического состояния, в основном для продления срока безопасной эксплуатации оборудования до очередного технического освидетельствования (экспертизы промышленной безопасности). Вместе с тем при планировании капитальных ремонтов и замены (списания) энергетического оборудования необходима информация о прогнозируемом остаточном сроке службы именно до их проведения,

а не до очередного технического освидетельствования;

- применение универсальных методик технического диагностирования, в которых описываются методы и средства решения всех задач диагностирования (поиска места и определения причин неисправностей, контроля и прогнозирования технического состояния) вида или типа энергетического оборудования. В таких методиках, как правило, рекомендуется использование значительного количества диагностических параметров, что затрудняет диагностирование. При этом вместо конкретных рекомендаций по нормативным значениям параметров (номинальным, допускаемым

и предельным) и сведений о характерных закономерностях изменения диагностических параметров в зависимости от срока службы (наработки) оборудования, условий (режима) его эксплуатации и т.п. часто предлагаются ссылки на другие нормативно-методические документы;

- высокая стоимость средств прогнозирования технического состояния энергетического оборудования, включающих не только первичные измерительные преобразователи (датчики), но и программные средства обработки, анализа результатов измерений и, при наличии возможности, подготовки рекомендаций;
- потребность в привлечении экспертов сторонних специализированных организаций для указанного анализа и подготовки рекомендаций по срокам очередного ремонта или списанию оборудования с ис-







пользованием соответствующей базы данных и т. п.

Одним из перспективных методов технического диагностирования высоковольтного электрооборудования объектов газотранспортной системы является метод измерения частичных разрядов (ЧР).

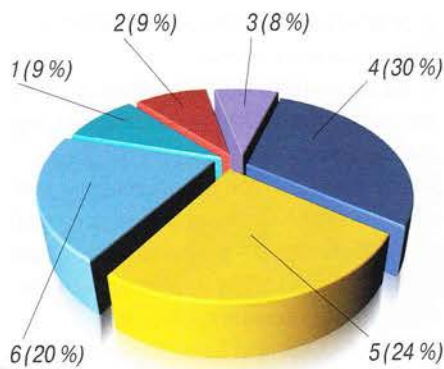
На протяжении многих лет метод измерения ЧР был недостаточно распространен в России из-за отсутствия методик интерпретации результатов измерений по результатам диагностирования (например, при прогнозировании технического состояния изоляции обмотки высоковольтного электрооборудования) и необходимости привлечения дорогостоящих экспертов для подготовки этих решений.

К настоящему времени серийно выпускаются и находят все более широкое применение средства диагностирования, реализующие метод измерения ЧР и представляющие готовые решения, позволяющие распознавать характер дефекта и тенденции его развития, приспособленные к потребностям организаций, эксплуатирующих высоковольтное электрооборудование.

Метод измерения ЧР используется при техническом диагностировании кабельных линий электропередачи, силовых трансформаторов, высоковольтных электродвигателей, в том числе электродвигателей электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА), и др.

Около 30 % отказов ЭГПА происходят по причине неудовлетворительного состояния изоляции обмотки статора электродвигателя (рис. 1). В результате этого дефекта может произойти пробой изоляции, а затем – аварийный останов электродвигателя, снижение давления газа в магистральном газопроводе, вынужденный запуск резервного ЭГПА и дорогостоящий неплановый капитальный ремонт отказавшего ЭГПА.

Следует отметить, что такие методы диагностирования изоляции обмотки статора высоковольтного электродвигателя, как измерение сопротивления изоляции и испытание повышенным напряжением, не определяют реальное техническое состояние указанной изоляции, так как используются только на остановленном ЭГПА. Это исключает учет влияния факторов рабочего процесса – рабочей температуры обмотки, изменяющихся электрических



**Рис. 1. Распределение количества отказов ЭГПА по причинам их возникновения:**

1 – неудовлетворительное состояние контактных соединений; 2 – повреждение сердечника статора; 3 – неудовлетворительное состояние изоляции ротора; 4 – неудовлетворительное состояние изоляции статора; 5 – дефекты возбуждителя ротора; 6 – ослабление посадки деталей на ротор

и механических нагрузок, вибрации стержней в пазах статора. Кроме того, упомянутые методы могут не выявить дефекты изоляции на начальной стадии их развития.

Метод измерения ЧР позволяет проводить мониторинг технического состояния изоляции обмотки статора на работающем ЭГПА и четко фиксировать динамику уровня ЧР в изоляции в ходе эксплуатации ЭГПА.

В обычных условиях при наличии дефекта в изоляции обмотки статора высоковольтного электродвигателя полный пробой изоляционного промежутка возникает не сразу. Как правило, ему предшествуют микропробои при электрической напряженности электрического поля 3 кВ/мм, перекрывающие не весь, а лишь воздушные включения изоляционного промежутка, называемые ЧР. К примеру, пробой эпоксидно-слюдяной изоляции происходит при электрической напряженности поля около 300 кВ/мм, но перед этим сначала появляются ЧР, а уже затем происходит пробой изоляции.

В том случае, когда исходный дефект изоляции небольшой, период времени от возникновения первичных ЧР до полного пробоя изоляции составляет до нескольких лет. Обнаружение повышенного уровня ЧР на ранней стадии их развития позволяет в дальнейшем:

- периодически или постоянно (с помощью встроенных датчиков) контролировать из-

менение технического состояния изоляции обмотки статора на работающем ЭГПА;

- проводить в плановом порядке при достижении определенного уровня ЧР в изоляции или его опасной динамике углубленный осмотр места дефекта с выведением ротора из электродвигателя ЭГПА и принятием решения о текущем ремонте на объекте эксплуатации ЭГПА или его отправке в капитальный ремонт на предприятие-изготовитель и т. п.;
- исключить эксплуатацию ЭГПА в критических условиях, повысить уровень их безотказности и существенно продлить срок службы.

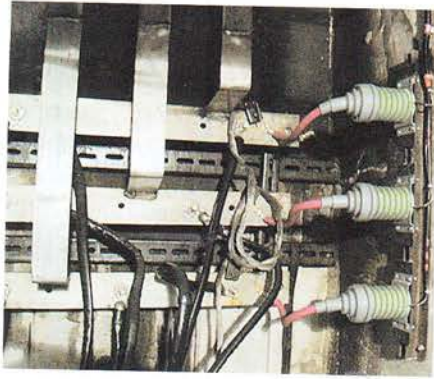
К средствам диагностирования, реализующим метод измерения ЧР, можно отнести диагностические системы компании Iris Power Qualitrol (диагностические системы Iris), которые, в частности, более семи лет используются при диагностировании большого парка ответственных электродвигателей в нефтегазовой отрасли России. Начало данной практике положила компания «Сахалин Энерджи». В настоящее время диагностические системы Iris активно применяются и на других предприятиях: ОАО «Сибур», ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» и др.

Диагностические системы Iris позволяют решить одну из главных задач метода измерения ЧР – отделение импульсов ЧР, возникающих в изоляционной системе статорной обмотки, от электромагнитных шумов и помех.

В целях решения указанной задачи предусмотрены несколько стадий фильтрации сигналов ЧР, реализованных как аппаратно, так и программно. Аппаратная часть включает специальные датчики емкостного типа, выполняющие функцию высокочастотных фильтров и регистрирующие форму и направление импульсов ЧР. Программная часть содержит алгоритмы обработки получаемых данных. Используемая комбинация методов позволяет полностью уйти от риска так называемой ложной индикации и дать объективное заключение о состоянии изоляции обмотки статора работающего ЭГПА.

В состав диагностической системы Iris входят датчики ЧР (на напряжение 6,9; 16 или 25 кВ) на основе эпоксидно-слюдяных конденсаторов (ЕМС) емкостью  $80 \pm 4$  пФ, к преимуществам которых относятся отсут-





**Рис. 2. Пример установки датчиков ЧР типа ЕМС в коробке выводов электродвигателя ЭГПА (ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»)**

ствии собственных ЧР, высокая термическая стабильность и наличие антирекингových (противопробойных) свойств.

Датчики ЕМС устанавливаются по одному на каждую фазу обмотки статора электродвигателя (рис. 2).

Программная часть функций диагностической системы Iris осуществляется переносным прибором-анализатором типа TGA-B или стационарно установленным прибором постоянного контроля типа PDTгас.

Диагностическая система Iris обеспечивает:

- общий контроль работы электродвигателя (ЭГПА);
- контроль параметров технического состояния изоляции обмотки статора электродвигателя – уровня ЧР по фазам, температуры, влажности, вибрации;
- статистическое накопление данных и вывод на пульт оператора информации о текущем состоянии изоляции (пофазно), позволяющей с высокой достоверностью выявить механизмы разрушения изоляции (например, по преобладанию положительных значений параметра  $\pm Q_m$  уровня ЧР, измеряемого в мВ, над отрицательными) и степень ее старения (деградации) на самых ранних стадиях их возникновения;
- сравнение измеренной величины ЧР (параметра  $\pm Q_m$ ) с результатами аналогичных измерений в базе данных диагностической системы Iris (более 270 тыс. результатов измерений, собранных компанией Iris за 20 лет контроля технического состояния многих тысяч машин по всему миру) и установленными нормативными значениями

уровня ЧР (ничтожное, низкое, умеренное, повышенное и критичное);

- возможность определения уставки аварийной сигнализации об опасном (повышенном) уровне ЧР;

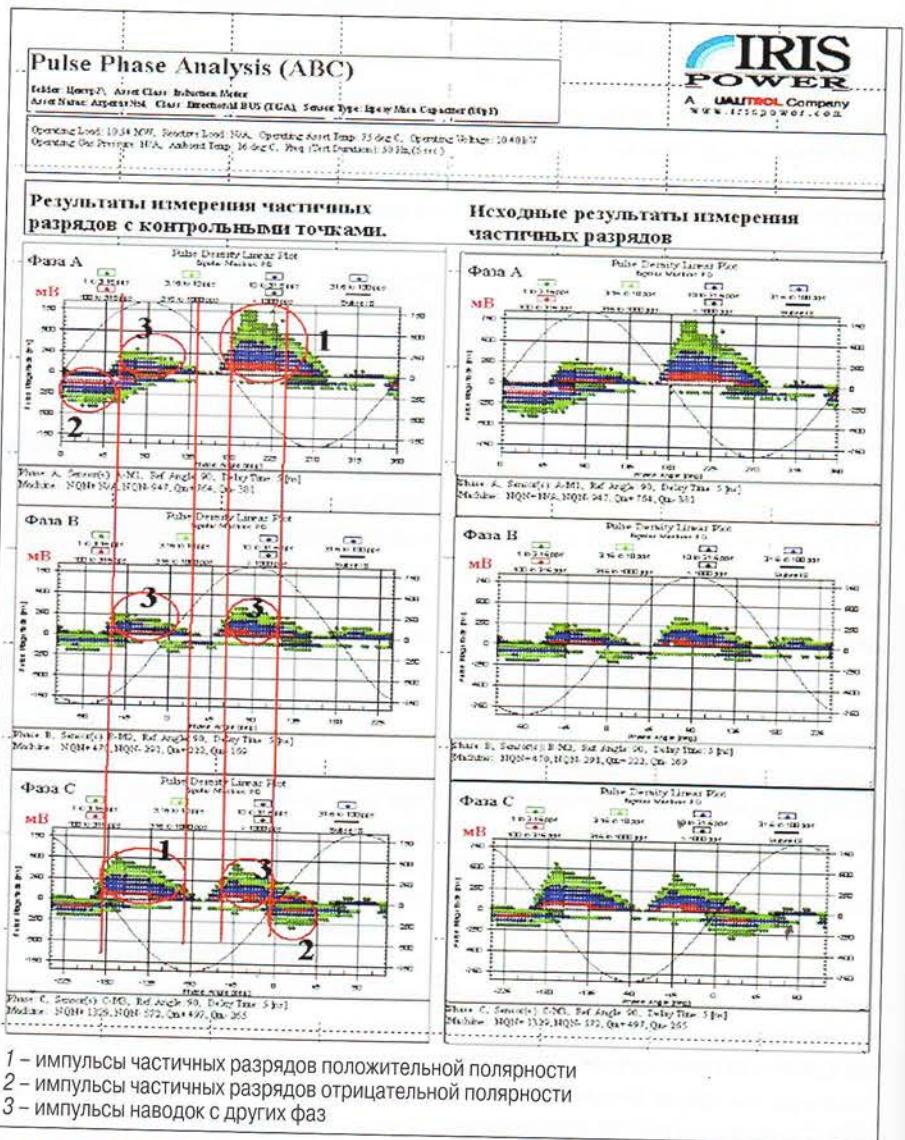
- возможность (при использовании диагностической системы не менее полугодом) построения тренда – динамики возрастания уровня ЧР, важного критерия оценки технического состояния изоляции.

Преобладающая направленность (полярность) величины параметра  $\pm Q_m$  свидетельствует о доминирующем механизме разрушения изоляции обмотки статора, например:

- преобладание положительных ЧР над отрицательными ( $+Q_m \gg -Q_m$ ) является

признаком высокой активности поверхностных ЧР (между фазами обмотки или между фазой и корпусом статора), возникающей по причинам: истирания изоляции (в результате ослабления вязки или заклиновки стержней обмотки статора электродвигателя и т. п.), загрязнения изоляции, применения некачественных проводящих и полупроводящих покрытий и т. д. Часть таких дефектов может быть устранена при плановом техническом обслуживании или текущем ремонте электродвигателя;

- преобладание отрицательных ЧР над положительными ( $-Q_m \gg +Q_m$ ) указывает на высокую активность ЧР внутри изоляции (вблизи поверхности меди обмотки статора) в связи с наличием ее внутренних



**Рис. 3. Пример анализа графика импульсов частичных разрядов с привязкой к фазовому углу опорного напряжения промышленной частоты**



дефектов – наиболее опасных, поскольку они не могут устраняться при текущем ремонте электродвигателя;

- отсутствие преобладания положительных или отрицательных ЧР свидетельствует о наличии пустот, возникающих при вспучивании и расслоении изоляции обмоток в результате физического старения при длительной эксплуатации или воздействии высокой температуры и др. При этом пустоты могут быть небольшой толщины и неопасными (но с течением времени увеличиваются), а в месте вспучивания возможен проводящий канал, что требует дополнительного осмотра (инструментального контроля) и принятия решения о необходимости соответствующего технического обслуживания или ремонта.

Для удобства анализа полученных данных число импульсов в секунду на графиках отображается разными цветами, а их положение на графике привязано к фазовому углу напряжения в обмотке электродвигателя (рис. 3).

На рис. 4 показана сравнительная оценка результатов измерения уровня ЧР в изоляции обмоток статоров четырех высоковольтных электродвигателей ЭГПА, оснащенных диагностическими системами Iris.

В целях проверки результатов диагностирования агрегата 4 в ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» с выявлением резко прогрессирующего тренда роста ЧР в изоляции обмотки статора электродвигателя типа СТД-12500 и локализации источника ЧР высокого уровня было принято решение провести визуальный осмотр заземленной обмотки статора после выведения ротора из электродвигателя.

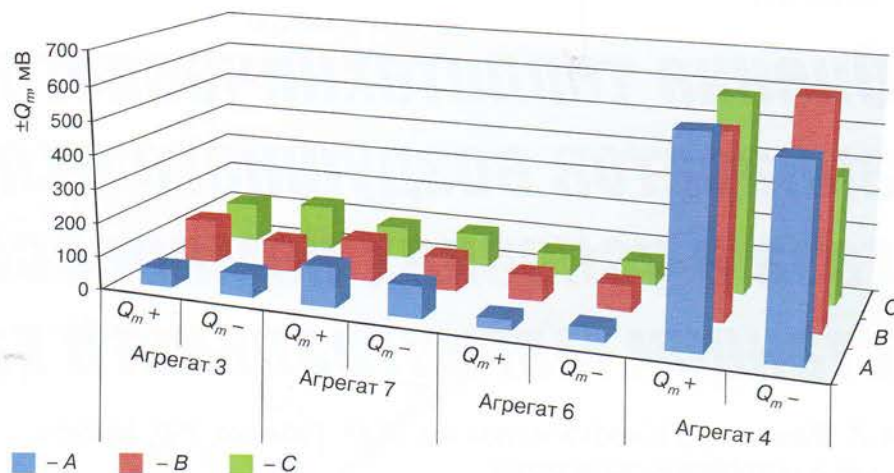


Рис. 4. Сравнительная оценка результатов измерения уровня ЧР ( $\pm Q_m$ , мВ) в изоляции обмоток статоров электродвигателей ЭГПА по фазам А, В и С

В процессе указанного осмотра подтверждено наличие ряда дефектов изоляции обмотки статора (рис. 5), выявлены дефекты активного железа статора и установлено, что вместо изоляции типа «Монолит-2», которая должна использоваться на электродвигателях указанного типа согласно технической документации, фактически применена другая изоляция (стеклотканевая, с пропиткой).

Опыт использования метода измерения ЧР в сочетании с материалами базы данных диагностической системы Iris свидетельствует о высокой эффективности указанного метода и возможности расширения объемов его применения на объектах нефтегазовой отрасли. Вместе с тем следует отметить, что демонтаж и монтаж тяжелого ротора мощных электродвигателей в эксплуатационных условиях без специальной

Вспучивание изоляции. Возможно наличие и развитие проводящего канала

Растрескивание изоляции



Рис. 5. Вспучивание и растрескивание изоляции обмотки статора электродвигателя ЭГПА

оснастки для визуального осмотра статора и проверки результатов диагностирования может стать причиной дополнительного повреждения изоляции обмотки статора и является неоправданным.