

Сравнительный анализ дистанционных методов диагностики технического состояния оборудования по результатам испытаний ультразвукового сканера

Крылов А.Н., Батищев А.М., Бондарева Н.В.  
ООО «СамарНИПИнефть», Самара, Россия  
Batischev\_AM@samnipi.rosneft.ru

Аннотация

В статье представлены результаты испытаний ультразвукового сканера на технологических и энергетических объектах. Выполнен сравнительный анализ результатов технической диагностики, полученных с ультразвукового, инфракрасного и ультрафиолетового сканера.

Материалы и методы

Дистанционный контроль технического состояния оборудования, тепловые методы, оптические методы, акустические методы.

Ключевые слова

ультразвуковой сканер, инфракрасный сканер, ультрафиолетовый сканер, техническая диагностика, испытания

Для цитирования

Крылов А.Н., Батищев А.М., Бондарева Н.В. Сравнительный анализ дистанционных методов диагностики технического состояния оборудования по результатам испытаний ультразвукового сканера // Экспозиция Нефть Газ. 2020. №5. С \*\*–\*\*. DOI: 10.24411/2076-6785-2020-10099

Поступила в редакцию: 10.09.2020

DIAGNOSTICS

UDC 534.6.08 + 536.521.2 | Original Paper

Comparative analysis of remote methods for diagnosing the technical condition of equipment based on the results of ultrasonic scanner tests

Alexey N. Krylov, Arseny M. Batishchev, Natalia V. Bondareva  
“SamaraNIPIneft” LLC, Samara, Russia  
Batischev\_AM@samnipi.rosneft.ru

Abstract

The article presents the results of testing an ultrasonic scanner at technological and energy facilities. A comparative analysis of the results of technical diagnostics obtained from an ultrasonic, infrared and ultraviolet scanner is performed.

Materials and methods

Remote monitoring of technical condition of equipment, thermal methods, optical methods, acoustic methods

Keywords

ultrasonic scanner, infrared scanner, ultraviolet scanner, technical diagnostics, testing

For citation

Krylov A.N., Batishchev A.M., Bondareva N.V. Comparative analysis of remote methods for diagnosing the technical condition of equipment based on the results of ultrasonic scanner tests. Exposition Oil Gas, 2020, issue 5, P. \*\*–\*\* (In Russ). DOI: 10.24411/2076-6785-2020-10099

Received: 10.09.2020

С каждым годом всё актуальнее стоит вопрос повышения надежности работы оборудования при одновременном сокращении финансовых и трудовых ресурсов. Одним из вариантов снижения затрат и обеспечения эффективной работоспособности оборудования является переход с планово-предупредительного ремонта на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР)

по техническому состоянию (ТС). Такое обслуживание позволяет повысить надежность электроснабжения, обеспечить рациональное использование ресурсов, а также повысить эффективность ремонтных работ и продлить срок службы материальных активов.

Для перехода на стратегию ТОиР по ТС необходимо обеспечить наличие актуальной и достоверной базы данных испытаний

и диагностики оборудования для управления сетевыми активами. Это может быть достигнуто за счет более высокого уровня обслуживания со стороны эксплуатирующего персонала и повышения требований к диагностике и мониторингу состояния оборудования. Использование новейших методов диагностики, выявляющих дефекты от «зарождающихся» до «требующих

обслуживания», позволит создать эффективные методы оценки текущего состояния оборудования.

Одним из развивающихся методов контроля «зарождающихся» дефектов является метод измерения частичных разрядов (ЧР), образующихся в электрическом поле при загрязнении или разрушении поверхностного слоя изоляции. В методе измерения ЧР основным параметром, прогнозирующим состояние изоляции, является интенсивность разрядов, которая определяется по внешним проявлениям процесса: звуковым (ультразвуковым) и световым импульсам, электрическим процессам, выделению газов, нагреву диэлектрика. Отсутствие ЧР является одним из признаков нормального состояния изоляции.

В настоящее время в электроэнергетике в качестве основных дистанционных средств диагностирования [5] зарекомендовали себя приборы, работающие по принципу тепловизионного контроля [4, 7] с использованием инфракрасных (ИФ) или ультрафиолетовых (УФ) технологий [3, 6].

ИФ метод заключается в измерении инфракрасного излучения, обусловленного нагревом. Невидимое инфракрасное излучение с помощью тепловизоров преобразуется в видимый человеком сигнал. Данный метод позволяет регистрировать изменения температуры в доли градуса, однако при мониторинге на большом расстоянии, например при контроле коронных разрядов на линиях электропередач, простые ИФ сканеры не обладают достаточной разрешающей способностью. Для решения таких задач применяют приборы, работающие в ультрафиолетовом диапазоне.

Ультрафиолетовые сканеры способны дистанционно выявить дефекты изоляции на ранних стадиях, сопровождающиеся поверхностными частичными или коронными разрядами, наблюдение которых возможно именно в ультрафиолетовом диапазоне. Сопровождающийся при ЧР процесс электрохимической коррозии приводит к постепенному разрушению элементов изоляции за счет выделения из воздуха азота, его реакцией с влагой и получением азотной кислоты. Но возможности УФ сканеров ограничены, так, например, нагрев из-за плохого контактного соединения или утечку тока зафиксировать не удастся.

Новинкой диагностики оборудования являются ультразвуковые (УЗ) приборы, способные совместить в себе все положительные стороны ИФ и УФ сканеров.

Принцип действия прибора основан на выявлении неслышимых человеческим ухом ультразвуковых возмущений, излучаемых работающим оборудованием [1] с последующим преобразованием сигнала в доступную для человека форму восприятия. На основании показаний прибора в зависимости от уровня и характера шума можно сделать определенные выводы по стадии повреждения и необходимости их устранения.

В качестве испытуемого УЗ сканера нам был предоставлен ручной прибор, способный визуализировать на дисплее в режиме реального времени источник звуковой активности. В приборе также реализована

функция анализа сигнала, позволяющая оценить вид дефекта: внутренний разряд, коронный разряд или шумовые явления. Данная способность позволяет в режиме реального времени без отключения оборудования проводить диагностику для обнаружения

дефектов на ранних стадиях развития, когда ИФ и УФ сканеры еще не определяют дефект по критическому значению нагрева.

Специализированный институт по проектированию объектов энергетики ООО «СамарНИПИнефть» с целью проверки



Рис. 1. Обследование трансформатора 110/35/6 кВ (С-1-Т)  
Fig. 1. Inspection of the 110/35/6 kV transformer (S-1-T)

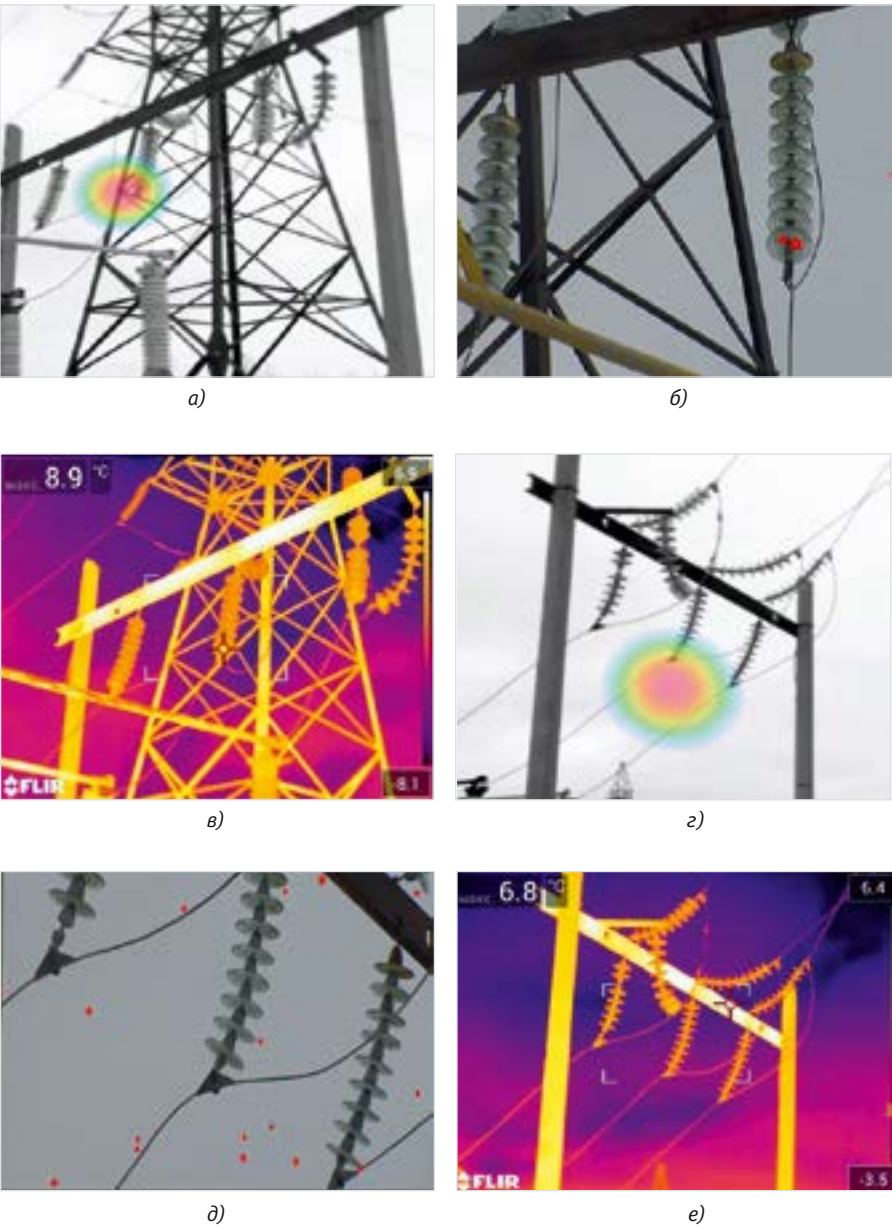


Рис. 2. Обследование гирлянды изоляторов портала 110 кВ  
Fig. 2. Inspection of a garland of 110 kV portal insulators

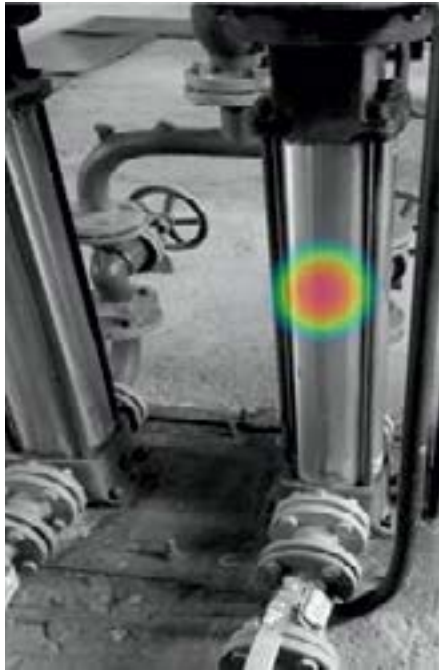


эффективности УЗ метода технической диагностики организовал проведение демонстрационных испытаний УЗ сканера на объектах АО «Самаранефтегаз». В качестве наблюдателей и участников испытаний были приглашены представители служб энергетиков из нескольких обществ ПАО «НК «Роснефть». В процессе испытаний УЗ сканером выполнялось обследование энергетического оборудования на ПС 110/35/6 кВ «УКПН-2», учебном полигоне АО «Самаранефтегаз», а также в котельной. Результаты УЗ диагностики сравнивались с информацией, полученной от применяемых ИФ и УФ камер.

В ходе обследования силового трансформатора 110/35/6 кВ (С-1-Т) на поверхности фазы «В» опорного изолятора ИОС-35 (рис. 1а) УЗ сканер выявил разрядную активность с уровнем сигнала 23 дБ. Участники испытаний поинтересовались у представителя производителя УЗ оборудования, о чем свидетельствует данный уровень сигнала и в какой степени выявленный дефект критичен. После изучения действующих нормативных документов [1, 2, 6] выяснилось, что в них не регламентированы критерии уровней ЧР и отсутствуют четкие указания, какой уровень дБ является нормальным, а при каком требуется аварийный вывод оборудования в ремонт. В условиях отсутствия нормативной документации представитель производителя УЗ оборудования предложил участникам испытаний руководствоваться результатами исследований, проводимыми в этой области [9]. Уровень ЧР в 23 дБ был оценен как развивающийся дефект, требующий периодического мониторинга и контроля. Для сравнения: проведено дополнительное обследование ИФ сканером (рис. 1б), которое выявило незначительный нагрев контакта ввода. При этом точка перегрева определена ИФ сканером автоматически в другом месте, что создает вероятность пропуска при исследовании зарождающегося дефекта.

Дальнейшие исследования УЗ сканером на подстанции выявили на фазе «В» разьединителя 110 кВ в месте контактного соединения ЧР на уровне 18,4 дБ. Автоматический анализ диаграммы ЧР, в соответствии с настройками производителя, определил данный разряд как коронный «разряд в воздух», что не является прямым дефектом и не носит разрушающего характера для оборудования (косвенное разряжение происходит через окисление озон, выделяющимся при коронном разряде). Для сравнения результатов технической диагностики проведено дополнительное обследование ИФ сканером, которое не выявило нагрев.

В ходе обследования гирлянды изоляторов портала 110 кВ УЗ сканер зафиксировал уровень ЧР на уровне 23 дБ и один четко локализующийся источник — нижняя тарелка гирлянды (рис. 2а). УЗ сканер определил данный разряд как «разряд на поверхности или внутреннем компоненте». Уровень сигнала соответствует критерию «развивающийся дефект». Для сравнительного анализа проведена проверка гирлянды изоляторов портала 110 кВ с помощью УФ сканера и обнаружена активность с внутренней части нижней тарелки изолятора (рис. 2б), а проверка ИФ сканером зафиксировала наличие



а)



б)

Рис. 3 Выявление УЗ сканером элементов системы, находящихся в работе  
Fig. 3. Detection of system elements in operation by the ultrasonic scanner

нагрева в указанной точке (рис. 2в) до величины 8,9 °С.

С целью сравнения эффективности обнаружения дефекта гирлянды изоляторов портала 110 кВ при отсутствии прямой видимости с помощью разных технологий диагностики были произведены замеры с противоположной стороны портала. При этом зона ЧР на внутренней поверхности тарелки изолятора закрыта толщиной тела тарелки. УЗ сканер зафиксировал ультразвуковой сигнал ЧР (рис. 2г), который стал ослабленным до уровня 15 дБ (уменьшился на 6 дБ от сигнала прямой видимости). УЗ сканер также определил ЧР как «разряд на поверхности или внутреннем компоненте». Сравнительное обследование УФ сканером разряды не выявило, т.к. зона ЧР закрыта телом тарелки изолятора (рис. 2д). Обследование ИФ сканером с тыльной стороны тарелки изолятора также не выявило наличие нагрева точки ЧР (рис. 2е). Таким образом, в условиях неяркой видимости УЗ сканер обладает более высокой чувствительностью к обнаружению дефектов.

Для проведения испытаний УЗ сканера на учебном полигоне АО «Самаранефтегаз» электротехнической лабораторией была организована подача напряжения с шагом 5 кВ от 25 до 40 кВ на линию, где был установлен изолятор, имеющий повышенный ток утечки. Целью испытаний являлась оценка зависимости уровня ультразвука, полученного по результатам УЗ сканера от уровня напряжения и имеющегося дефекта [8] (поверхностные разряды на изоляторе). При напряжении 25 кВ УЗ сканер зафиксировал уровень ЧР на тарелке изолятора на уровне 17 дБ, что оценивается как зарождающаяся стадия дефекта. Результаты обследования УФ сканером подтвердили наличие поверхностного частичного разряда на тарелке изолятора.

Результаты обследования ИФ сканером подтвердили незначительный (слабо различимый) нагрев в зоне частичного разряда на тарелке изолятора. В ходе испытаний была снята зависимость уровня ультразвукового ЧР на дефектном изоляторе при напряжениях 25, 30, 35, 40 кВ. Анализ полученных результатов свидетельствует о линейной зависимости влияния напряжения на уровень интенсивности ЧР. Каждое повышение уровня напряжения на 5 кВ увеличивает уровень интенсивности ЧР на +3 дБ.

Для изучения всех возможностей УЗ сканера выполнялось обследование технологического оборудования котельной с целью определения мест дефектов оборудования, утечек в трубопроводах и кранах, выявления элементов системы, находящихся в работе, и выявления источников шумового загрязнения.

В ходе проведения обследования УЗ сканером в котельной выявлен источник шумового загрязнения. Локализация шума была определена на расстоянии более 20 м в конце цеха. Источник шума не являлся дефектом, но производил шумовое загрязнение цеха, которое возможно уменьшить с помощью звукоизолирующих средств.

Для проверки возможностей УЗ сканера проводилась имитация протечки клапана дренажного трубопровода. Вначале были проведены замеры шума на корпусе крана в закрытом состоянии, а когда кран был открыт, то УЗ сканер зафиксировал появление источника шума.

В ходе испытаний УЗ сканер продемонстрировал способность выявлять элементы системы, находящиеся в работе. Обследования проводились на двух одинаковых питательных насосах, один из которых находился в работе (рис. 3а), а также на двух ветках трубопровода с одной работающей веткой (рис. 3б).

## Итоги

В результате проведенных исследований УЗ метод исследования показал свою эффективность и высокую чувствительность к обнаружению дефектов в процессе диагностики. УЗ сканер показал возможность выявления дефекта без видимого источника, что наглядно подтверждено исследованием гирлянды изоляторов портала 110 кВ. Данная возможность позволяет сократить время обследования объекта и снижает вероятность пропустить дефект. Наличие программного обеспечения в УЗ сканере позволяет получить результаты на экране прибора и провести быстрый предварительный анализ (первичная оценка состояния оборудования). Оператор может на месте идентифицировать тип сигнала (электрический разряд или шум) и различать коронные и поверхностные разряды. В отличие от ИФ и УФ методов диагностики, УЗ метод способен выявлять механические дефекты оборудования, которые не сопровождаются нагревом и ЧР. Подтверждена эффективность УЗ сканера для выявления

пропускающих клапанов и нахождения источников шумового загрязнения. УЗ метод диагностики добавляет функции в части определения работающих элементов системы (кран, патрубков, насос).

## Выводы

По мере развития методологической и нормативной базы обследование с использованием УЗ сканеров является перспективным направлением диагностики за счет широкой области охвата диагностируемого оборудования и простоты обнаружения дефекта. Учитывая, что исследуемый УЗ сканер не включен в государственный реестр средств измерений и отсутствуют формализованные методы классификации дефектов, данный прибор в настоящее время может использоваться как вспомогательное оборудование для экспресс-диагностики.

## Литература

1. ГОСТ 20415-82 Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения.
2. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика.

Термины и определения.

3. ГОСТ Р 53696-2009 Контроль неразрушающий. Методы оптические. Термины и определения.
4. ГОСТ Р 53698-2009 Контроль неразрушающий. Методы тепловые. Термины и определения.
5. ГОСТ Р 56542-2019 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.
6. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль. Ультразвуковой контроль.. М.: Машиностроение, 2004. Т. 3/7. 864 с.
7. В.П. Вавилов Неразрушающий контроль. Тепловой контроль. М.: Машиностроение, 2006. Т. 5/7. Кн. 1. 679 с.
8. Подмастерьев К.В., Соснин Ф.Р., Корндорф С.Ф., Ногачева Т.И., Пахолкин Е.В., Бондарева Л.А., Мужичкий В.Ф. Неразрушающий контроль. Электрический контроль. М.: Машиностроение, 2006. Т. 5/7., Кн. 2. 679 с.
9. Копченков Д.М. Синицкая Н.А., Петров А.М. Диагностика оборудования и кабельных линий без вывода в ремонт // КАБЕЛЬ-news. 2012. № 2. С. 42–45.

## ENGLISH

## Results

As a result of the research ultrasonic method of research has shown its effectiveness and high sensitivity to the detection of defects in the diagnostic process. The ultrasonic scanner showed the possibility of detecting a defect without a visible source, which is clearly confirmed by the study of a garland of 110 kV portal insulators. This feature allows you to reduce the time of inspection of the object and reduces the likelihood of missing a defect. The presence of software in the ultrasonic scanner allows you to get results on the device screen and conduct a quick preliminary analysis (initial assessment of the equipment condition). The operator can identify the type of signal (electrical discharge or noise) on the spot and distinguish between corona and surface discharges. Unlike infrared and ultraviolet diagnostic methods, the ultrasonic

method is able to detect mechanical defects in equipment that are not accompanied by heating and frequency discharges. The effectiveness of the ultrasonic scanner for detecting leaky valves and finding sources of noise pollution has been confirmed. The ultrasonic diagnostic method adds functions in terms of determining the working elements of the system (tap, pipe, pump).

## Conclusions

With the development of the methodological and regulatory framework, examination using ultrasonic scanners is a promising area of diagnostics due to the wide coverage of the equipment being diagnosed and the ease of defect detection. Given that the ultrasonic scanner under study is not included in the state register of measuring instruments and there are no formalized methods for classifying defects, this device can currently be used as an auxiliary equipment for rapid diagnostics.

## References

1. GOST 20415-82 Non-destructive testing. Acoustic methods. Generalities principles.
2. GOST 20911-89 Technical diagnostics. Terms and definitions.
3. GOST R 53696-2009 Non-destructive testing. Optical methods. Terms and definitions.
4. GOST R 53698-2009 Non-destructive testing. Thermal methods. Terms and definitions.
5. GOST R 56542-2019 Non-destructive testing. Classification of types and methods.
6. Ermolov I.N., Lange Yu.V. Non-destructive testing. Ultrasonic testing. Moscow: Mashinostroenie, 2004, Vol. 3/7, 864 p.
7. Vavilov V.P Non-destructive testing. Moscow: Mashinostroenie, 2006, Vol. 5/7, book 1, 679 p.
8. Prentice K.V., Sosnin F.R., Korndorf S.F., Nogacheva T.I., Pakholkin E.V., Bondareva L.A., MuzitskyV.F. Non-destructive testing. Moscow: Mashinostroenie, 2006, Vol. 5/7, book 2, 679 p.
9. Kopchenkov D.M., Sinitskaya N.A., Petrov A.M. Diagnostics of equipment and cable lines without output for repair. CABLE-news, 2012, issue 2, P. 42–45 (In Russ).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Крылов Алексей Николаевич**, кандидат технических наук, главный специалист ООО «СамараНИПИнефть», Самара, Россия

**Krylov Alexey Nikolaevich**, candidate of technical Sciences, chief specialist, “SamaraNIPIneft” LLC, Samara, Russia

**Батищев Арсений Михайлович**, кандидат технических наук, ведущий инженер ООО «СамараНИПИнефть» Самара, Россия  
**Для контактов: Batischev\_AM@samnipi.rosneft.ru**

**Arseny Mikhailovich Batishchev**, candidate of technical Sciences, leading engineer, “SamaraNIPIneft” LLC, Samara, Russia  
**Corresponding authors: Batischev\_AM@samnipi.rosneft.ru**

**Бондарева Наталья Викторовна**, инженер 1 категории ООО «СамараНИПИнефть» Самара, Россия

**Natalia Viktorovna Bondareva**, engineer of the 1st category, “SamaraNIPIneft” LLC, Samara, Russia