

# Новая технология экспресс-диагностирования высоковольтной изоляции

**Выводы ряда отечественных и международных исследований свидетельствуют о том, что по состоянию на 2019 год российская энергетика развивается, используя традиционные технологии в сравнении с мировым трендом развития цифровых технологий. Реализация стоящих перед российской электроэнергетикой задач может быть эффективно осуществлена эволюционным путем с применением инновационных, прорывных технологий и решений.**

**Мягих К.Ю.**,  
заместитель  
руководителя —  
главный инженер  
Диагностического  
центра филиала  
ПАО «Ленэнерго» —  
СПбВС

Современная концепция развития диагностических методов в энергетике предполагает все более широкое использование систем онлайн-контроля. Он производится без вывода оборудования в ремонт, непосредственно в процессе эксплуатации и позволяет получить текущие данные о состоянии силового электроэнергетического оборудования: трансформаторов, вводов, опорной и подвесной изоляции, кабелей. Немаловажную роль в системах онлайн-контроля занимают приборы, позволяющие произвести не только оценку состояния изоляции на предмет разрядов, но и их визуальную локализацию.

В последнее десятилетие хорошо зарекомендовали себя ультрафиолетовые (УФ) камеры, позволяющие даже при дневном свете производить поиск дефектов, связанных с коронными разрядами.

Технология появилась не вчера, но к сожалению стоимость УФ-камер до сих пор остается очень высокой, а утвержденных методик по оценке коронных разрядов для всех типов электрооборудования не существует. При этом навык работы с УФ-камерой специалистами по диагностике приобретается достаточно долго. По этим двум причинам многие сетевые компании до сих пор не могут использовать УФ-камеры на своих предприятиях.

Однако совсем недавно были представлены новые альтернативы УФ-камерам, которые не только способны заменить или дополнить УФ-камеры при обследовании оборудования с наличием коронных разрядов, но и обладают другими характеристиками, уравновешивающими недостатки УФ-технологий. Это так называемые ультразвуковые (УЗ) дефектоскопы (рисунки 1 и 2) с визуализацией



Рис. 1. Диагностика с помощью ультразвуковой NL-камеры и тепловизора



Рис. 2. Ультразвуковая NL-камера

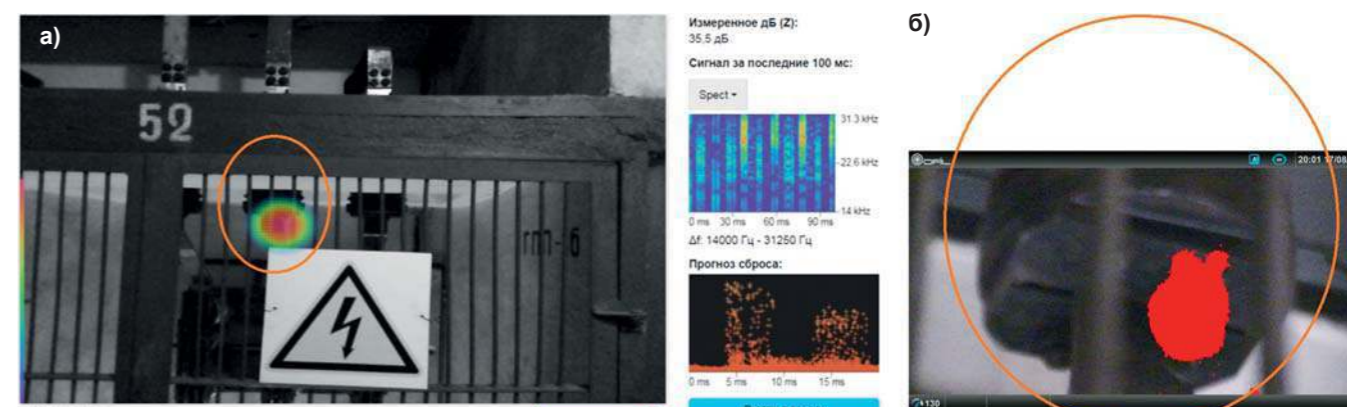


Рис. 3. Сравнение результатов измерения с помощью: а) ультразвуковой NL-камеры; б) УФ-камеры.

данных в режиме реального времени. Хотя называть данную технологию новой будет не совсем уместно — ведь все мы знаем, что часто коронные разряды слышны даже человеческим ухом, а использование приемников ультразвуковых волн и их дальнейшая интерпретация в слышимые частоты известна еще с середины 70-х годов, а в последние годы в мировой и российской энергетике применялись устройства с микрофоном и наушниками, даже с параболическим отражателем.

Но действительно инновационный прорыв в технологии был сделан пару лет назад именно в направлении визуализация источника ультразвуковых волн. Попробуйте закрыть глаза и определить любой источник звука. При наличии одного источника в принципе это получится — вы определите источник, но с точностью в полметра. А если источников два или три, и они рядом — вы сможете только примерно определить направление, не более. Применяя существующие локаторы ультразвуковых частот, вы также сможете определить область распространения звука, но чтобы найти источник, нужно подойти почти вплотную. Для определения такого источника, как например гирлянда изоляторов, требовались серьезные навыки, перемещение кругами и немного удачи.

С появлением технологии ультразвуковой камеры, в которой источник ультразвука локализует мощный процессор, обрабатываемая массив из 124 сфазированных микрофонов и накладывая

ультразвуковое поле на видеоканал, все стало намного проще и эффективнее, и с точностью до сантиметра! Наш опыт применения ультразвуковой матричной NL-камеры подтверждает, что технология позволяет локализовать опорный изолятор с высоким уровнем разрядной активности на расстоянии 40 метров, при этом различать те тарелки, в которых происходят разряды. На расстоянии более 50 метров до обследуемого объекта прибор определяет область возникновения разрядности, но точно локализовать источник возможно только с помощью бинокля или с вышки.

Помимо новизны технологии для любого диагностирования важен второй аспект — возможность анализа измерения с целью определить дефект. Именно это является определяющим в выборе. В применяемой нами NL-камере производится анализ сигнала в реальном времени, и на экран выводится PRPD-диаграмма разрядной активности (фазовая диаграмма распределения разрядов, синхронизированная к периоду промышленной частоты). Она позволяет оценить форму сигнала разряда и предельно понять, имеет ли он электрическую природу, помехи это или внешние разряды, либо поверхностный или внутренний разряд.

Для оценки объективности результатов измерений с помощью NL-камеры нами были проведены сравнительные тесты с использованием переносных систем УФ-контроля и тепловизора. На рисунках 3 и 4 представ-

лены снимки, сделанные приборами, одного и того же дефекта с использованием NL-камеры и УФ-камеры. Как отчетливо видно, NL-камера обладает схожей чувствительностью, а наличие PRPD-анализа в реальном времени на экране придает ей неоспоримое преимущество.

Удобство использования NL-камеры во многом обусловлено простотой управления и визуальным понятным отображением результатов. Звуковое поле «накладывается» на видеоканал и позволяет оператору однозначно идентифицировать источник сигнала. На основании первичного анализа и использования измерений с различных ракурсов, дабы исключить влияние отраженного сигнала, основываясь на результатах PRPD-анализа, оператор может сохранить результат измерения. Этот результат впоследствии может быть дополнительно обработан с помощью программного обеспечения.

Защищенное исполнение корпуса позволило использовать NL-камеру во время влажной погоды и на морозе для обследования оборудования РУ и подвесной изоляции опор ЛЭП. Проведенный осмотр с помощью NL-камеры позволил выявить ряд дефектов, таких как: повреждение (распушение) проводов; определение гирлянд фарфоровых изоляторов, содержащих нулевые элементы; дефект монтажа арматуры. На рисунке 5 представлены фото некоторых характерных дефектов, полученных с помощью NL-камеры.

Опираясь на характер PRPD-диаграммы, прибор самостоятельно проводит первичную

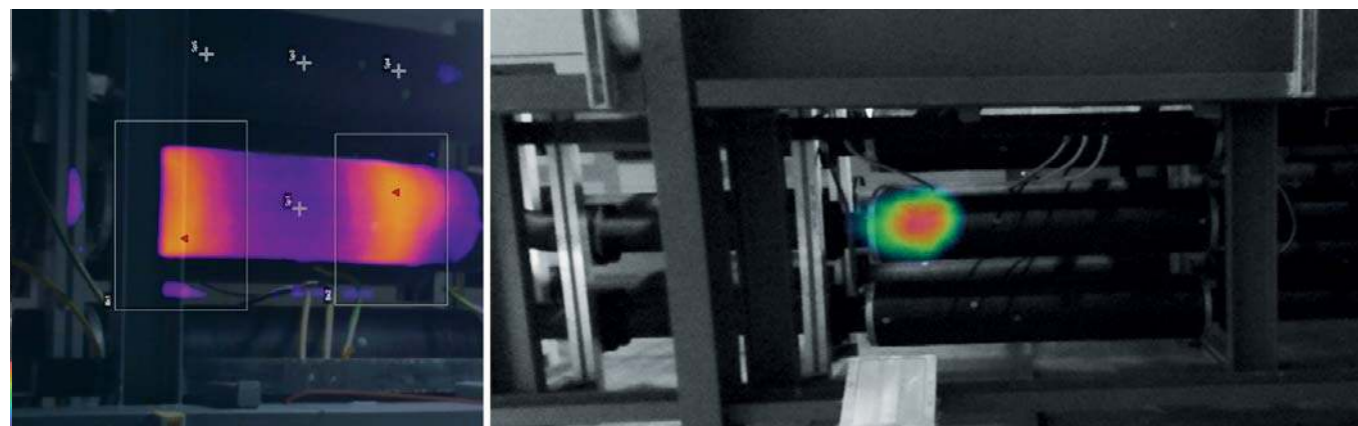


Рис. 4. Сравнение результатов инфракрасного и ультразвукового обследования муфт

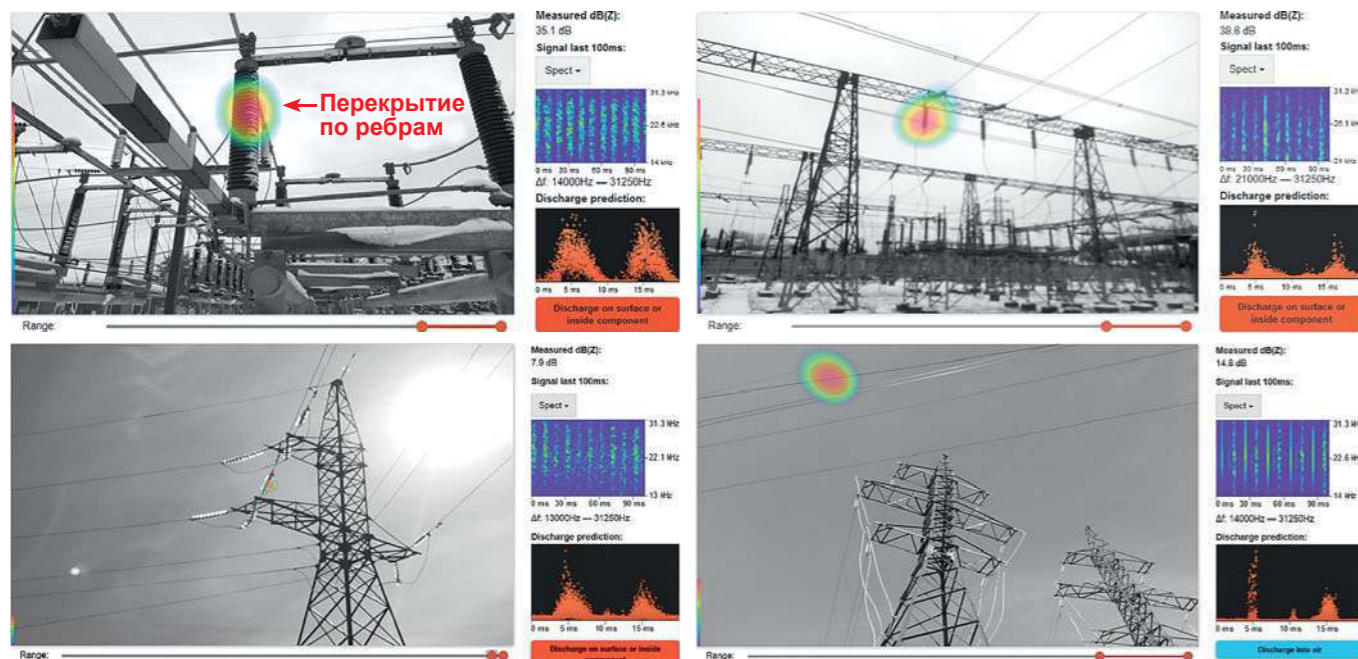


Рис. 5. Примеры обследований на ОРУ

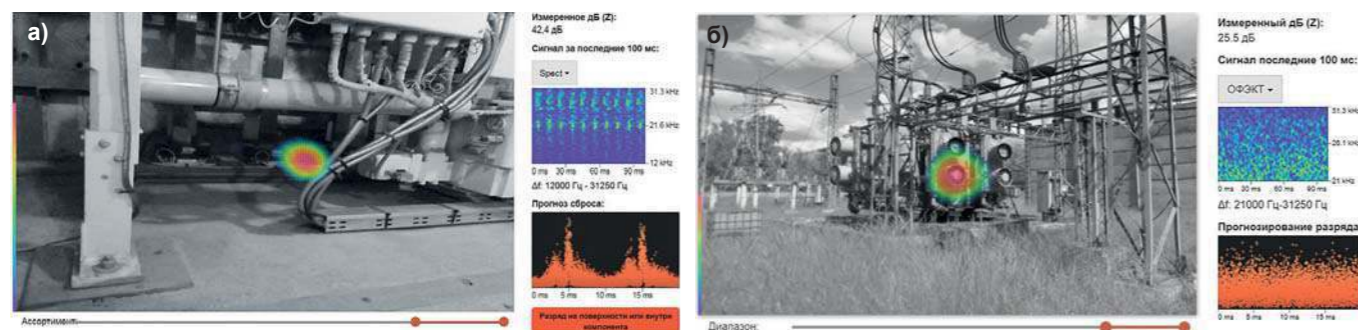


Рис. 6. Природы дефектов: а) электрический дефект проходного ТТ 10 кВ; б) механический дефект вентилятора обдува

оценку результатов измерения и может подсказать пользователю, какой вид дефекта имеет место: внутренний разряд, корона, или это помехи и шум (рисунок 6). И здесь хотелось бы особо заострить внимание на том, что в отличие от УФ-камеры, которая позволяет идентифицировать только поверхностные разряды, NL-камера дает нам также информацию в случае присутствия поверхностных и внутренних разрядов в изоляции, то есть она позволяет, например, обнаружить ЧР в концевых муфтах или токопроводах.

Известно, что для приборов визуального контроля, таких как тепловизор или УФ-камера, требуется соблюдение одного важного правила — это прямая видимость открытого источника сигнала (дефект). В случае если это условие не соблюдено, диагностика с помощью этих средств становится невозможной. Например, достаточно заслонить часть объекта, либо если дефект окажется внутри толщи изоляции. NL-камера же способна определить дефект, когда источник ЧР находится в закрытом пространстве — например, внутри ячейки КРУ. Применение NL-камеры на ЗРУ ПАО «Ленэнерго» показало,



Рис. 7. Дефект оболочки кабеля в РУ 10 кВ

что разрядность на одной из ячеек сразу «слышна» камерой при входе в РУ. Далее ориентируясь на дисплей прибора, визуально просто и быстро определить источник сигнала. На рисунке 7 приведен пример дефекта оболочки кабеля.

Также NL-камера «видит» дефект внутри объекта, когда источник ЧР находится в толще изоляции либо за оболочкой. Это происходит из-за того, что ультразвуковая волна отлично распространяется по твердым материалам и выходит наружу, превращаясь в звуковые колебания. На рисунке 8 приведены примеры обнаружения разрядов внутри муфт силового кабеля, а также внутри низковольтного электродвигателя вентилятора.

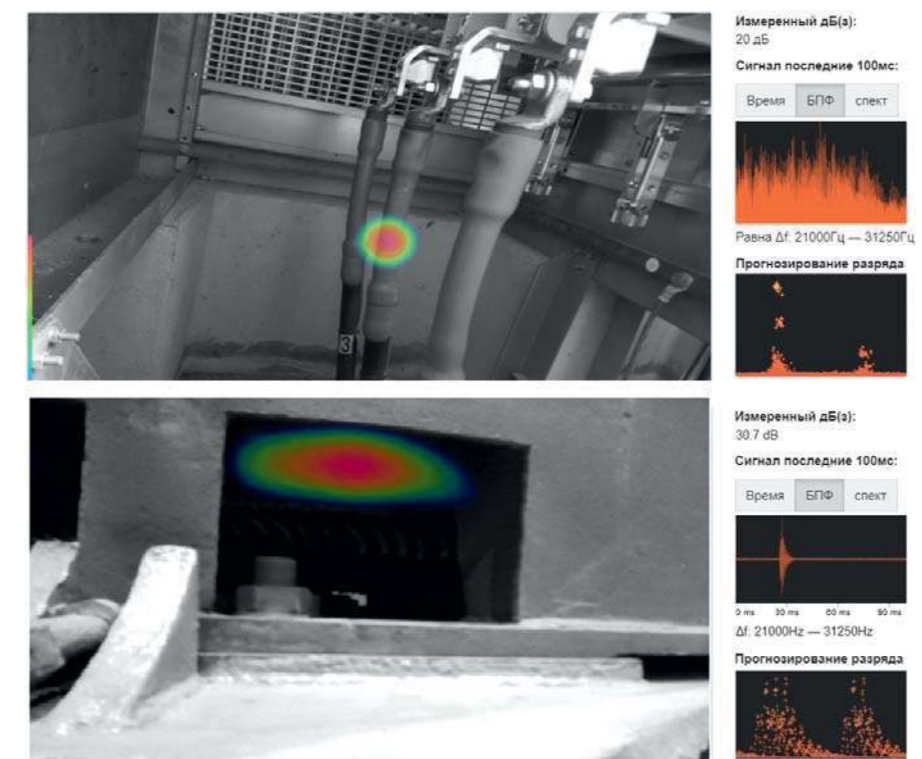


Рис. 8. Дефекты внутри объекта (в толще изоляции)

## ВЫВОДЫ

1. Полученный непродолжительный опыт применения УЗ-дефектоскопа с визуализацией данных в режиме реального времени выявил как ряд преимуществ, так и ряд недостатков. Преимущества: удобство для персонала, быстрая освоения, относительная простота интерпретации полученных результатов. Недостатки: наличие отраженных акустических сигналов в закрытых помещениях, что требует внимания оператора и съемки объекта с нескольких ракурсов.
2. Наличие автоматизированного программного обеспечения с простым интерфейсом и интегрированным искусственным интеллектом позволяет быстро анализировать снятые данные и автоматически формировать отчеты без потери времени и «ручного анализа». Для оценки серьезности дефекта используется оценка уровня мощности сигнала в дБ, а также подсчет числа импульсов в секунду.
3. В целях выполнения задач цифровой трансформации такие системы, как ультразвуковые NL-камеры, способны быть хорошим дополнительным устройством экспресс-диагностики на любом сетевом объекте, так как при относительно небольшой стоимости и легкости применения они способны обеспечить выявление и локализацию развивающихся дефектов изоляции и провести анализ в ситуациях, когда невозможно или затруднительно применить другие методы и инструменты онлайн-диагностики.