



## The Investigation of Quality Parameters of Porcelain Support-Pin Insulators and Circuit Breaker Covers in the Presence of Porosity Due to Soiling

Alexey TADZHIBAEV, Viktoria KONOVALOVA, Alexander SHEYKIN

The Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Russia  
e-mail: [iecc@peipk.spb.ru](mailto:iecc@peipk.spb.ru)

### Abstract

An analysis was carried out concerning the activation of destructive energy in porcelain insulation structures depending upon their static and dynamic porosity parameters which emerge at the stage of their production. Approaches were substantiated to determine the technical status of support-pin insulators and that of the bodies of oil and air circuit breakers, by applying ultrasonic techniques. Specific inspection features were discovered when porosity reaches end plane surfaces.

**Keywords:** support-pin insulators, porcelain insulation structures, porosity due to soiling, ultrasonic inspection.

## Исследование показателей качества фарфоровых опорных стержневых изоляторов и покрышек выключателей при наличии засорочной пористости

Алексей И. ТАДЖИБАЕВ, Виктория А. КОНОВАЛОВА, Александр А. ШЕЙКИН

Дефект в виде засорочной пористости носит объемный характер и выявляется по затуханию ультразвука и связанным с ним параметрам. В фарфоровых образцах, скорость распространения ультразвука заметно снижается лишь при достаточно высоких уровнях засорения, превышающих уровень, эквивалентный засорению 0,01% SiC. В то же время затухание ультразвука (в дБ) на тех же образцах вплоть до весьма высоких уровней засорочной макроскопической пористости, практически невозможных в реальном производстве (0,1% SiC), оказалось пропорционально уровню засоренности (см. рис.1.).

На рис.1. приняты следующие обозначения:  $\alpha$  — коэффициент затухания ультразвука на частоте 2,5 МГц;  $C$  — скорость распространения ультразвука на частоте 2,5 МГц; 1 — коэффициент затухания ультразвука в образцах, дБ/см; 2 — скорость распространения ультразвука в образцах, м/с; 3 — коэффициент затухания ультразвука и соответствующий ему уровень засоренности по SiC, (0,7 дБ/см; 0,026% SiC).

При сопоставлении параметров засорочной макроскопической пористости с функциональными показателями качества оказалось, что засорочная макроскопическая пористость особенно сильно влияет на прочность опорных стержневых изоляторов при ударных нагрузках, снижая ее в 2–3 раза по сравнению с изделиями, имеющими засорение на фоновом уровне.

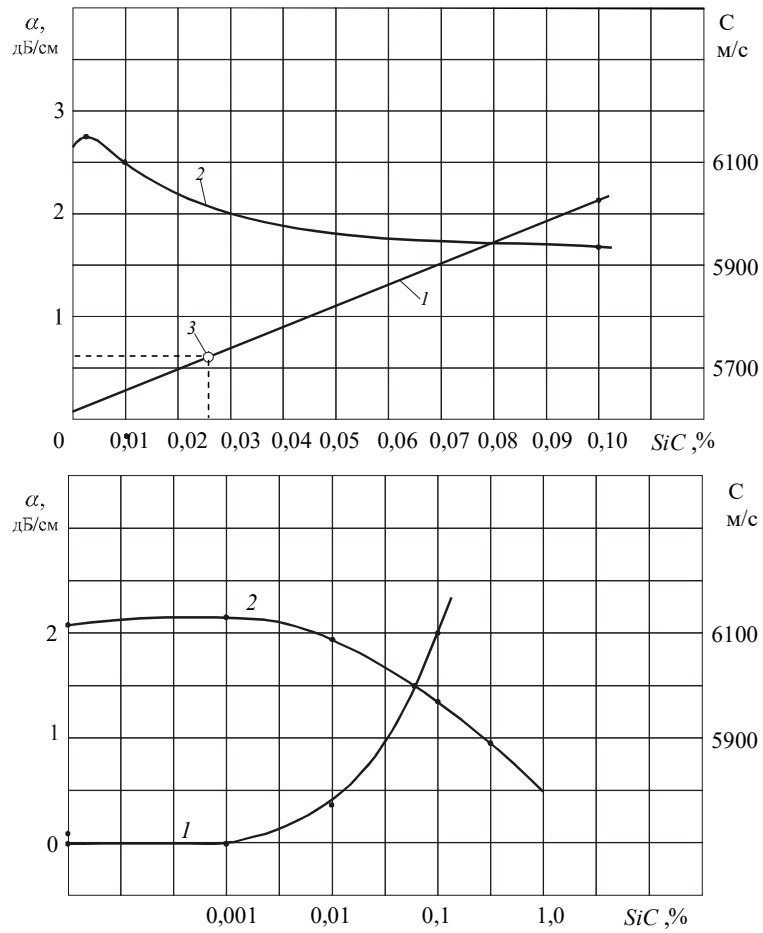


Рис.1. Зависимость параметров ультразвука от засорочной пористости

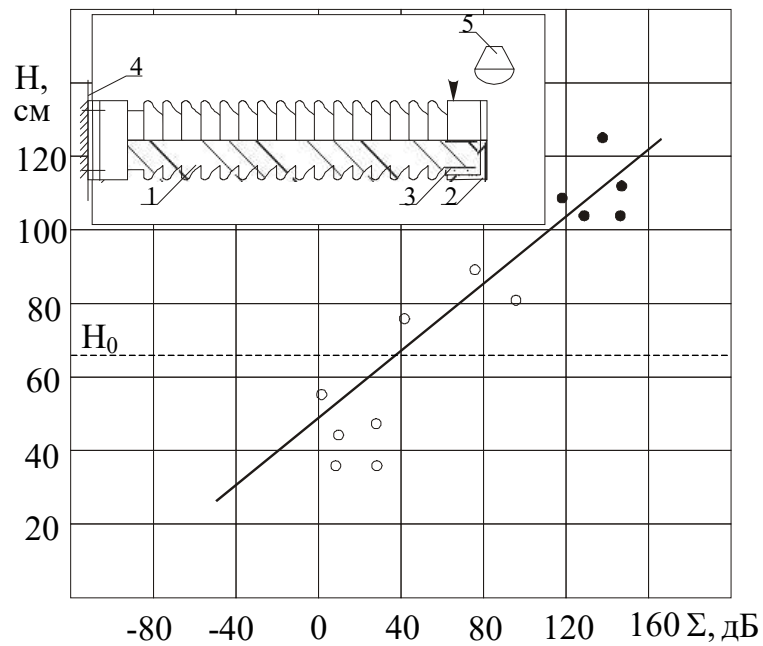


Рис. 2. Зависимость прочности опорных стержневых изоляторов от параметров ультразвукового контроля

На рис.2. показана связь между прочностью изолятора «на удар» и его обобщенным показателем затухания ультразвука. Показатель сформирован как сумма первых пяти донных импульсов за вычетом усредненной величины шумов структурной реверберации. Приведены следующие обозначения:  $H$  – высота сброса груза;  $H_0$  – норматив для изоляторов данного типа;  $\Sigma$  – обобщенный показатель затухания ультразвука при аксиальном прозвучивании изолятора, дБ; 1 – фарфоровое тело изолятора; 2 – фланец; 3 – цементная связка; 4 – установочная плита; 5 – свободно падающий груз (масса 14 кг). Видно, что изоляторы с фоновым засорением (темные точки на рис.2.) имеют ударную прочность, в 1,5–2 раза превышающую нормативную, тогда как изделия с повышенным уровнем засорочной макроскопической пористости (светлые точки) имеют ударную прочность 0,6–1,3 от нормативной.

Засорочная макроскопическая пористость влияет не только на ударную (механическую), но и на электрическую прочность фарфора. Соответствующую экспериментальную зависимость удалось получить на фарфоровых покрышках с различной степенью засорения, оценивавшейся по результатам ультразвукового неразрушающего контроля (УЗНК), испытывая их «на пробой» погруженными в трансформаторное масло (рис.3.). На рис.3. введены следующие обозначения:  $U_{пр}$  — фактическое пробивное напряжение;  $U_0$  — нормативное пробивное напряжение;  $\alpha$  — коэффициент затухания ультразвука;  $SiC_3$  — эквивалентный уровень засоренности карбидом кремния.

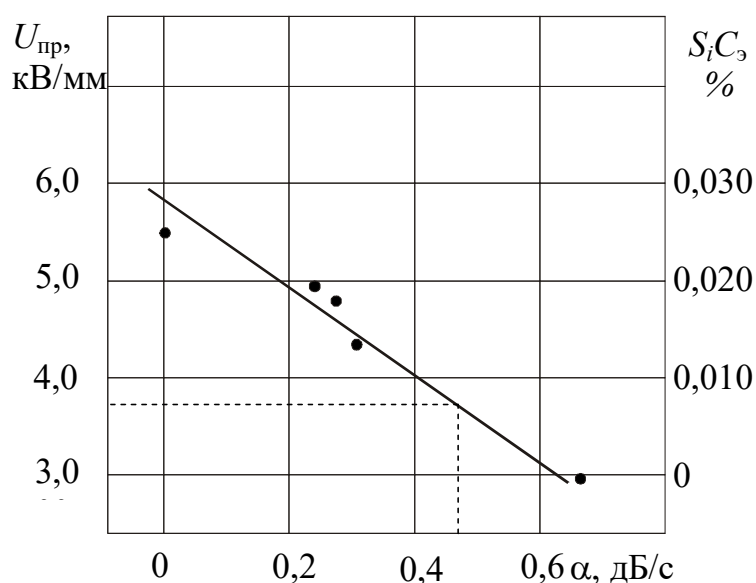


Рис. 3. Зависимость электрической прочности от параметров ультразвукового контроля

В качестве параметра УЗНК взято затухание ультразвука при аксиальном прозвучивании изделия (в дБ/см), причем затухание в покрышке с фоновым засорением было принято за 0 дБ. Видно, что изделие с фоновым засорением имеет серьезный запас электрической прочности по сравнению с нормативом. Для изоляторов с засорочной макроскопической пористостью он заметно снижается, а для изделия с грубой объемной макропористостью электрическая прочность оказалась ниже нормативной.

Наиболее опасным местным дефектом является тонкая трещина, ориентированная перпендикулярно направлению главных напряжений, возникающих при изгибе изолятора. Вопрос о возможности выявления и оценки опасности подобных дефектов был рассмотрен, исходя из условий прочности опорных стержневых изоляторов,

определяемых экспериментально полученными значениями предельно допустимых коэффициентов интенсивности механических напряжений, для идеализированного дефекта в виде плоской дискообразной трещины, ориентированной параллельно торцевым поверхностям изолятора. Были рассчитаны так называемые ОДР-диаграммы («опасность-дальность-радиальная координата дефекта»), связывающие максимальную допустимую величину сигнала от дефекта при УЗНК с координатами дефекта и схемой нагружения изолятора.

Вышеуказанный подход к проблеме УЗНК местного дефекта лежит в русле «классической» ультразвуковой дефектометрии, основанной на расчете акустических трактов и АДР-диаграмм («амплитуда-дальность-размер»).

Как показывает опыт эксплуатации, наиболее важным дефектом является открытая микроскопическая пористость. Для покрышек с металлическим фланцем иногда наблюдается «выход» глубинной открытой микроскопической пористости на боковую поверхность концевой части изделия, не подвергавшейся механической обработке. Анализ опыта эксплуатации показал, что выход на боковую поверхность способствовал значительному ускорению разрушению. Одно из наблюдаемых в эксплуатации изделий из фарфора с таким дефектом отказал после года ввода в эксплуатацию.

Возможна околоповерхностная открытая микроскопическая пористость, которая сопровождается, как правило, утратой глазурию ее гидроизоляционных свойств, сохраняющихся даже при сильнейшей глубинной открытой микроскопической пористости.

В то же время в эксплуатации торцевые поверхности и оголовки покрышек защищены от атмосферной влаги значительно хуже, чем торцевые поверхности опорных стержневых изоляторов. Небольшая толщина стенок, коль скоро открытая микроскопическая пористость в них все же имеется, приводит к относительно более быстрой, чем для опорных стержневых изоляторов, утрате механической прочности.

В эксплуатации покрышки длительное время могут находиться под избыточным внутренним давлением. Для маломасляных выключателей это давление, пусть небольшое по сравнению с номинальным для годного изделия данного типа, может вызвать подрастание небольших трещин, появившихся в зимний сезон из-за замерзания влаги, впитанной зоной открытой микроскопической пористости перед этим. Так, покрышка с «выходом» глубинной открытой микроскопической пористости на боковую поверхность, установленная в маломасляном выключателе ВМТ-110, разрушилась в нижнем «опасном» сечении через год. Последним толчком к разрушению послужило короткое замыкание на соседней фазе (ток короткого замыкания 2000 А при номинале для данного типа выключателей 20000 А). Осмотр излома свидетельствовал о постепенном развитии кольцевой трещины. «Выход» зоны открытой микроскопической пористости на торцевые поверхности покрышек маломасляного выключателя может привести к вытеканию масла даже без образования трещин, через микропористый слой фарфора под уплотнением.

Воздушные выключатели, находящиеся под продувкой, защищены как от попадания влаги «через микропористый торец под уплотнением», так, по-видимому, в известной мере и от впитывания влаги боковой поверхностью оголовка. Об этом косвенно свидетельствует факт относительно редкого разрушения фарфора выключателей ВВ-33ОБ, ВВ-500Б, при том, что для этих аппаратов доля покрышек с грубой открытой микроскопической пористостью весьма велика.

Ультразвуковой контроль открытой микроскопической пористости покрышек при прозвучивании с торцов похож на результаты УЗНК опорных стержневых изоляторов. В то же время имеются две специфические особенности:

1) для покрышек, используемых без металлического фланца, то есть с утолщенным оголовком, крайне желательно измерение скорости распространения ультразвука на оголовках, особенно для крупногабаритных покрышек.

2) на покрышках целесообразно производить контроль на выявление поверхностной открытой микроскопической пористости в «опасных» сечениях, а также «выходы» глубинной открытой микроскопической пористости на торцевые поверхности покрышки после шлифовки (по скорости распространения поверхностных ультразвуковых волн).

## **Литература**

1. Шейкин А.А. Контроль качества изделий из высоковольтного электрофарфора на производстве. Сборник материалов семинара "Диагностика технического состояния фарфоровых изоляторов высоковольтных коммутационных аппаратов", ВНИИЭ, 1999г.
2. Шейкин А.А., Таджибаев А.И., Омельченко Ю.А. Технологии оценки состояния фарфоровых изоляционных конструкций высоковольтных электроустановок. СПб: ПЭИПК, 2000г.