ISSN 1310-3946

НАУЧНИ ИЗВЕСТИЯ на НТСМ
SCIENTIFIC PROCEEDINGS

"NDT days 2011"/ "Дни на безразрушителния контрол 2011"
26th International Conference"Defectoscopy'11// 26 Международна конференция Дефектоскопия'11"

Year /Година XIX ❒ Number/ Брой 1 (121) June/Юни 2011

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ, ОБУСЛАВЛИВАЮЩИХ РЕЗУЛЬТАТ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СТРУКТУКРОСКОПИИ ФАРФОРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

ОЦЕНКА НА ФАКТОРИТЕ, ВЛИЯЕЩИ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ПРИ УЛТРАЗВУКОВА СТРУКТУРОСКОПИЯ НА ПОРЦЕЛАНОВИ ИЗОЛАТОРИ

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCE THAT CAUSE RESULT OF ULTRASONIC DIAGNOSTICS OF THE PORCELAIN INSULATORS

Доц., к.т.н. Еременко В.С.[1], асист. Галаган Р.М.[2]
[1] Кафедра информационно-измерительных систем, Национальный авиационный университет – Киев, Украина
[2] Кафедра приборов и систем неразрушающего контроля, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт" – Киев, Украина
e-mail: rgalagan@ukr.net

Abstract: *Article is devoted to improving the reliability of ultrasonic nondestructive testing of the technical condition of the porcelain insulator (PI) and development of specialized system based on the method of processing the measurements results of the ultrasound velocity in the PI, which allows reducing the influence of random factors on inspection results. The thesis proposes new ways to improve the reliability of technical inspection of the PI. These new ways rely on using special blocks transducers, as well as the mathematical software that allows sifting through the results with gross errors and conducting self-monitoring of the system by checking the convergence of the results of ultrasonic velocity measurements at specific points on the surface of the product.*
KEY WORDS: *PORCELAIN INSULATOR, STATISTICAL DIAGNOSTICS, STATISTICAL CRITERIA, NONDESTRUCTIVE TESTING.*

1. *Введение*

Выход из строя энергетического оборудования приводит к значительным прямым и косвенным материальным потерям, которые связаны с нарушением энергоснабжения потребителей, а также высокой стоимостью демонтажа поврежденного оборудования и выполнения аварийных работ. Важным элементом энергетических систем являются фарфоровые изоляторы (ФИ), предназначенные для изоляции и крепления токопроводящих частей в электрических аппаратах, комплектных распределительных устройствах электрических станций и подстанций. Повреждение и разрушение изоляторов, которые устанавливаются в открытых распределительных устройствах переменного тока, приводят к серьезным авариям. Одним из наиболее распространенных внутренних дефектов ФИ является открытая микроскопическая пористость (ОМИП). В результате попадания влаги вглубь зоны ОМИП возможно как механическое повреждение ФИ, так и потеря изоляционных свойств. ОМИП является дефектом исключительно производственного происхождения, связанным с нарушением основных технологических режимов заводом-производителем изоляторов. Основным разрушающим методом оценки ОМИП является метод фуксиновой пробы под давлением, основанный на анализе глубины прокрашивания образцов, отобранных от разрушенных изоляторов, раствором фуксина.

2. *Постановка задачи*

Неразрушающим методом выявления ОМИП является ультразвуковая структуроскопия (УЗС), которая основана на измерении скорости распространения ультразвуковых колебаний (УЗК) в объекте контроля. Наличие ОМИП приводит к уменьшению скорости распространения УЗК. Измеренное значение скорости ультразвука в теле изолятора сравнивается с пороговым значением, и если оно оказывается меньше порогового, то это означает наличие ОМИП в изоляторе. Такой изолятор подлежит демонтажу. Пороговое значение скорости УЗК для партии однотипных изоляторов определяется и уточняется с помощью метода фуксиновой пробы под давлением.

При ультразвуковом контроле ФИ возникает значительная суммарная погрешность, обусловленная несовершенством используемого способа и оборудования для измерения скорости УЗК, а также геометрией ФИ, что в некоторых случаях приводит к невозможности выявления изменений физико-механических характеристик в теле ФИ.

На основе проведенного в [1] анализа показано, что на результат контроля влияет значительное количество случайных независимых факторов, которые условно разделено на две группы: технологические и измерительные (рис.1). К влиянию технологических факторов отнесены: температурные режимы обжига фарфоровой массы; временные режимы обжига; количественный состав и качество сырьевых компонентов, которые используются для изготовления изделий из фарфора; технологии изготовления; механическая обработка изделия и др. Влияние измерительных факторов обуславливается несовершенством используемой аппаратуры и методики проведения измерений скорости УЗК.

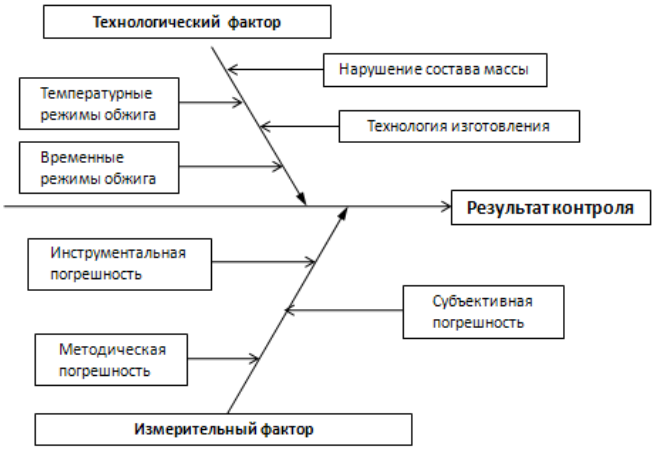

Рис.1 Факторы, влияющие на результат контроля ФИ

Таким образом, результат *i*-го измерения скорости УЗК в *j*-й точке на поверхности фарфорового изолятора можно представить в виде:

$$C_{j,i} = C_j(t,p) \pm \varepsilon_{j,i}\ , \qquad (1)$$

где $\varepsilon_{j,i}$ – значение суммарной случайной погрешности *i*-го измерения в *j*-й точке, которая характеризуется среднеквадратичным отклонением (СКО), $C_j(t,p)$ – значение измеренной величины, которое также является случайной функцией, зависящей от влияния технологических факторов (*t*) и пористости (*p*).

Анализ влияния обозначенных выше факторов позволяет заключить, что процесс измерения скорости УЗК будет иметь стохастическую природу, причём результаты измерений в отдельной точке на поверхности изолятора не будут противоречить нормальному закону распределения. Было предложено для определения дефектности ФИ использовать статистические характеристики полученных выборок измеренных значений скорости УЗК: математическое ожидание и дисперсию. Это позволит определять адаптивный браковочный порог по скорости УЗК в теле ФИ без использования метода фуксиновой пробы под давлением. Чтобы использовать предложенный подход, необходимо было определить степень влияния технологического и измерительного факторов на результат ультразвукового контроля изоляторов, для чего был проведён эксперимент по измерению скорости ультразвука в теле изолятора.

3. *Результаты исследований*

Экспериментальный стенд включал ультразвуковой дефектоскоп общего назначения УД 3-71, штангенциркуль с удлиненными губками с нониусной шкалой 0.05мм, набор преобразователей разной частоты и диаметра контактной площадки, фарфоровый изолятор типа ИОС 110-400 УХЛ1 и персональный компьютер, на котором проводилась обработка полученных в результате контроля данных. Так как вероятность выхода ОМИП на поверхность ФИ наибольшая в так называемых опасных сечениях из-за их механической обработки для посадки фланцев, поэтому все исследования проводились именно в этих областях изолятора. Верхнее опасное сечение (ВОС) и нижнее опасное сечение (НОС) изолятора были разбиты на 100 точек, в которых измерялась база прозвучування и скорость УЗК. В отдельных точках ВОС и НОС проводилось по 100 измерений скорости для обеспечения статистического анализа полученных выборок.

В табл. 1 приведены основные статистические характеристики выборок измеренных значений скорости УЗК в отдельной точке на поверхности ФИ.

Таблица 1. Статистические характеристики выборок измеренных значений скорости УЗК

Сечение	Тип преобразователя	Скорость УЗК в ФИ, м/с				
		Мин. значение	Макс. значение	Размах	Мат. ожид.	СКО
ВОС	П111-5.0-К6-003	5550.9	5616.7	65.8	5882.3	16.86
	П111-2.5-К12-003	5572.7	5603.4	30.7	5588.3	5.40
НОС	П111-5.0-К6-003	5534.7	5593.3	58.6	5566.6	15.55
	П111-2.5-К12-003	5562.0	5582.2	20.2	5572.5	3.95

Для того, чтобы сопоставить влияние измерительного и технологического факторов на результат контроля ФИ был проведен дисперсионный анализ полученных данных, который позволяет оценить влияние разных факторов на изменение исследуемого признака [2]. В случае, когда несколько полностью независимых факторов действуют одновременно и предопределяют общую изменяемость признака, то сумма отдельных рассеяний, которые характеризуют их влияние, равняется общему рассеянию:

$$Q_\Sigma^{\ 2} = Q_i^{\ 2} + Q_n^{\ 2} \qquad (2)$$

где $Q_i^{\ 2} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{m}\left(C_{ij} - \overline{C}_i\right)^2$ – рассеивание, определяемое влиянием случайных измерительных факторов;

$Q_n^{\ 2} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{m}\left(\overline{C}_i - \overline{C}\right)^2$ – рассеивание, в основном определяемое влиянием физико-механических характеристик (в частности, пористостью);

C_{ij} – измеренное значение скорости *i*-той точке в *j*-тый момент времени;

$\overline{C}_i$ – среднее значение скорости УЗК в каждой отдельной точке измерения;

$\overline{C}$ – генеральное среднее всех измерений во всех точках.

Рассчитанные значения соответствующих рассеиваний приведены в табл. 2.

Таблица 2. Рассчитанные составляющие общего рассеивания результатов контроля ФИ

Сечение	Тип преобразователя	Рассеивание, (м/с)^2		
		$Q_\Sigma^{\ 2}$	$Q_i^{\ 2}$	$Q_n^{\ 2}$
ВОС	П111-5.0-К6-003	119235.6	114930.4	4305.2
НОС	П111-5.0-К6-003	61744.5	56910.1	4834.4

Анализ приведенных данных показывает, что соотношение измерительного и технологического рассеяния Q_i^2/Q_n^2 в ВОС составляет 26.7, в НОС – 11.8. Это означает, что влияние измерительного фактора значительно больше, чем технологического, и не позволяет достоверно обнаруживать разброс физико-технических характеристик, обусловленных наличием ОМИП.

Для уменьшения влияния измерительного фактора была разработана специализированная ультразвуковая система статистической диагностики технического состояния изоляторов [3], для которой были разработаны: блок

первичных преобразователей [4], плата сбора информации и её передачи на компьютер, а также специализированное программное обеспечение.

Использование конструкции блока первичных преобразователей позволило значительно уменьшить методическую (обусловленную сложной геометрией ФИ) и субъективную (обусловленную использованием механического штангенциркуля) погрешности, а плата сбора информации и программное обеспечение позволили уменьшить (благодаря статистической обработке результатов измерений) инструментальную погрешность.

Алгоритм работы созданной системы состоит из двух основных блоков: формирование выборок информативных сигналов и последующей их статистической обработки. Статистическая обработка заключается в следующем: сначала система проверяет закон распределения случайной величины на отклонение от нормального за критериями: типа χ^2, Колмогорова-Смирнова и Эппса-Пали. Отличие закона распределения от нормального свидетельствует о нестационарности процесса контроля, вызванной нарушением условий измерений, а, соответственно, невозможности использования полученных данных для принятия решения о дефектности изделия.

Если подтверждено соответствие закона распределения нормальному, следующим шагом предусмотрено отсеивание результатов с грубыми погрешностями, для чего используются критерии Шовене, Диксона и Груббса. Такой подход позволяет повысить достоверность контроля ФИ. После отсеивания грубых погрешностей снова проверяется закон распределения полученных данных на отклонение от нормального, и если он не противоречит нормальному, то рассчитываются оценки математического ожидания и дисперсии.

На следующем шаге для самоконтроля процесса измерения в разных точках на поверхности ФИ система предусматривает проверку сходимости результатов измерения. Для чего используется критерий проверки однородности дисперсий по Фишеру. Если окажется, что дисперсии в разных точках будут неоднородными, то система сигнализирует оператору о нарушении условий контроля.

С помощью разработанной системы были проведены исследования, аналогичные описанным выше. В табл. 3 приведены результаты дисперсионного анализа полученных данных.

Таблица 3. Рассчитанные составляющие общего рассеивания результатов контроля ФИ (при использовании разработанной системы)

Сече-ние	Рассеивание, (м/с)^2		
	Q_Σ^2	Q_i^2	Q_n^2
ВОС	3412.7	255.4	3157.3
НОС	6552.4	237.1	6315.3

Анализ приведенных данных показывает, что соотношение измерительного и технологического рассеяний Q_i^2/Q_n^2 в ВОС составляет 0.081, в НОС - 0.038. Это означает, что влияние измерительного фактора на результат контроля значительно меньше, чем влияние технологического фактора, который определяется разбросом физико-технических характеристик.

Значительное уменьшение случайной погрешности измерения скорости УЗК, которого удалось достичь благодаря разработанной системе, позволило предложить метод определения адаптивного браковочного порога по скорости распространения УЗК для выявления дефекта типа ОМИП. Метод основан на использовании данных контроля партии однотипных изоляторов. В каждом изоляторе из партии проводится измерение скорости УЗК в опасных сечениях. Количество точек измерений в каждом сечении 5, что позволяет полностью проконтролировать всю внутреннюю зону ВОС/НОС. Когда получены данные по каждому отдельному изолятору в партии, формируется общая выборка измеренных значений скорости УЗК для всей партии и строится общее распределение. После этого с помощью статистических критериев Шовене, Диксона и Груббса находятся значение измеренных скоростей УЗК, которые не принадлежат анализируемой совокупности, распределенной по определенному закону. Такие результаты можно считать аномальным для исследуемой выборки на заданном уровне значимости α. Так как ОМИП приводит к уменьшению скорости УЗК, на аномальность анализируются результаты измерений, меньшие среднего значения в выборке (так как значения, большие средней величины является результатом пережога фарфорового изолятора в процессе изготовления). Таким образом, с заданной достоверностью можно утверждать, что аномальность обусловлена существенным изменением физико-технических характеристик (в частности, влиянием ОМИП). Адаптивный порог на основе критериев Шовене, Диксона и Груббса формируется при заданной достоверности и определяется статистическими характеристиками выборки измеренных значений скорости УЗК по всей партии исследуемых изоляторов. Если все результаты измерений не выходят за пределы адаптивного порога, то нет причин полагать, что в партии присутствуют изоляторы с ОМИП.

4. Выводы

Таким образом, благодаря использованию разработанной системы статистической диагностики влияние измерительного фактора на результат контроля ФИ становится пренебрежительно малым по сравнению с влиянием технологического фактора. Тогда выявленный в результате контроля ФИ разброс значений скорости УЗК при использовании разработанной системы будет обусловливаться исключительно влиянием технологического фактора изготовления ФИ (а именно наличием ОМИП). Это позволяет применять статистический подход к принятию решения о наличии дефекта типа ОМИП в теле ФИ.

Использование разработанной системы даёт возможность предложить новую методику и схему действий при проведении контроля ФИ, позволяющие повысить достоверность контроля.

5. Литература

1. Галаган Р.М. Підвищення точності визначення швидкості ультразвукових коливань при контролі порцелянових ізоляторів / Р.М. Галаган, В.С. Єременко // Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал. – Івано-Франківськ. – 2009. – Вип. №23. – с.96-101

2. Игуменцева Н.В. Статистический анализ результатов экспериментов и наблюдений: Учеб. пособие / Н.В. Игуменцева, В.И. Пахомов - Х.: "Компания СМИТ", 2005. - 236с.

3. Пат. №45907 України, МПК (2009) G01N 29/00, G01H 5/00. Спосіб ультразвукового контролю об’єктів/Галаган Р.М., Цапенко В.К., Протасов А.Г.; Укр. - №u200907687; Заявл. 21.07.2009. Опубл. 25.11.2009. Бюл. №22

4. Галаган Р.М. Ультразвуковий штангенциркуль / Р.М. Галаган, М.В. Кащич // Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал. – Івано-Франківськ. – 2008. – Вип. №20. – с.18-20.