

СОГЛАСОВАНО
Заместитель Председателя
Правления ОАО "ФСК ЕЭС"

_____ В.А.Васильев
" ___ " _____ 2005 г.

СОГЛАСОВАНО
Директор по технологии
ОАО "ФСК ЕЭС"

_____ М. Г. Линт
" ___ " _____ 2005 г.

УТВЕРЖДАЮ
Первый заместитель
Председателя Правления
ОАО "ФСК ЕЭС"

_____ А.Н.Чистяков
" ___ " _____ 2005 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по контролю механического состояния
опорно-стержневых фарфоровых изоляторов
110-220 кВ под рабочим напряжением

Разработчик: Закрытое акционерное общество научно-производственное объединение «Логотех» (ЗАО НПО «Логотех»)

Исполнители:

_____ В.И.Емельянов

_____ В.В. Никишов

_____ О.Е.Петров

РЕФЕРАТ

Методические указания – 23 стр., рисунков – 21, таблиц – 2, фото – 4, иллюстраций – 7, формул – 5.

Ключевые слова: фарфоровый опорно-стержневой изолятор, прочность, механическое состояние, механическое нагружение, спектральная плотность мощности вибрации, несущая способность, предельная нагрузка.

Объект исследований: фарфоровые опорно-стержневые изоляторы разъединителей 110-220 кВ.

В настоящей работе рассмотрен вибро-акустический метод контроля механического состояния фарфоровых опорно-стержневых изоляторов 110-220 кВ как под рабочим напряжением, так и резервных.

Метод основан на прямой взаимосвязи между механической прочностью и жесткостью (ее отображением является оценка спектральной плотности мощности колебаний) стержневых систем. [10]

Результатом исследований явилось создание аппаратно-программного комплекса для контроля механического состояния фарфоровых опорно-стержневых изоляторов под рабочим напряжением – мобильный индикаторный комплекс МИК-1.[11]

Мобильный индикаторный комплекс МИК-1 состоит из блока регистрации, который осуществляет задание возмущения и регистрацию реакции изолятора на это возмущение, и пакета специализированных программ, который обеспечивает считывание информации с блока регистрации на персональный компьютер с последующей обработкой для получения характеристик необходимых для определения механического состояния изоляторов. [12,13]

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения	5
2. Методические указания по вибро-акустическому контролю механического состояния фарфоровых опорно-стержневых изоляторов	5
2.1 Объекты контроля	5
2.2. Описание дефектов, механизмов их развития и физические основы метода виброакустического контроля	6
3. Порядок проведения виброакустического контроля опорно-стержневых изоляторов	8
3.1. Организационно-техническое обеспечение безопасного проведения работ	8
3.2. Технологическая карта на обследование опорно-стержневой изоляции виброакустическим методом	9
3.3. Общее описание Индикатора МИК-1	9
3.4. Подготовка Индикатора к работе	10
3.5. Выполнение измерений	11
3.6. Копирование информации в компьютер и ее обработка	12
4. Проведение анализа и выдача заключения	15
4.1. Теоретические основы	15
4.2. Критерии оценки механического состояния изоляторов по результатам измерений	15
4.3. Анализ результатов обследования	16
5. Список использованных источников	26

1. Общие положения

Несмотря на то, что работы по реконструкции электрооборудования проводятся, доля оборудования, срок службы которого приближается к критическому или превышает его, остается достаточно высокой. Это, в частности, относится к высоковольтной коммутационной аппаратуре, в том числе к разъединителям. [1,2,3]

Как показала практика эксплуатации разъединителей, важнейшей частью, влияющей на надежность их работы, являются опорно-стержневые фарфоровые изоляторы [1].

Повреждаемость разъединителей и высоковольтных выключателей из-за поломок изоляторов по-прежнему остается высокой, а по мере старения изоляторов вероятность их выхода из строя увеличивается. Это также подтверждается практикой эксплуатации – в 60-70 % случаев основной причиной разрушения указанного оборудования является низкое качество изготовления изоляторов, обусловленное нарушением основных технологических режимов процесса производства фарфора. Поломки изоляторов приводят к отключениям потребителей и к несчастным случаям. [1,2]

Практика работы многих электросетевых предприятий и электростанций показала, что одним из эффективных способов предупреждения таких поломок является выявление внешних и внутренних дефектов изоляторов в процессе их эксплуатации. Это подтверждается двумя циркулярами РАО «ЕЭС России» «О предупреждении поломок опорно-стержневых изоляторов разъединителей 110-220 кВ» № Ц9-04-97 (Э) от 29.12.1997 г. и № Ц01-01 (Э) от 14.05.2001 г. [1,2]

Ввод в действие этих циркуляров значительно активизировал работу энергопредприятий по применению методов и средств диагностики технического состояния изоляторов.

Актуальной остается более глубокая методическая основа применения современных средств диагностики с достаточно подробным описанием принципов и технологии контроля механического состояния фарфора в условиях эксплуатации.

2. Методические указания по вибро-акустическому контролю механического состояния фарфоровых опорно-стержневых изоляторов

2.1. Объект контроля.

Объектом контроля является механическое состояние фарфоровых опорно-стержневых изоляторов, используемых для изоляции и крепления токоведущих частей в электрических аппаратах, распределительных устройствах электрических станций и подстанций, комплектных распределительных устройствах, токопроводах переменного тока напряжением 110...220кВ, как с отключением, так и без отключения рабочего напряжения, а также изоляторы резерва [14].

2.2. Описание дефектов, механизмов их развития и физические основы метода виброакустического контроля.

Электротехнический фарфор является композиционным материалом, состоящим в основном из кварцевых частиц, распределенных в стеклообразной матрице. В процессе изготовления изолятора эти частицы подвергаются воздействию значительных растягивающих напряжений, возникающих при охлаждении фарфора после обжига из-за разных коэффициентов линейного расширения двух материалов. При действии этих напряжений могут зарождаться микротрещины в кварцевых частицах, стеклообразной матрице и на их границах. Этот процесс, в некоторой степени, характерен даже для доброкачественных изделий. [1]

Надежность изолятора определяется, в первую очередь, качеством его фарфорового тела. При этом:

а) дефекты даже очень малых размеров (например, поверхностная трещина глубиной всего 0,1мм, расположенная у нижнего фланца изолятора) способны привести к разрушению изолятора;

б) длительность развития трещины от ее зарождения до излома фарфора трудно прогнозировать (от секунд до нескольких лет);

в) визуально обнаружить внутренние трещины фарфора, а также трещины, расположенные под фланцем изолятора, невозможно, и поверхностные трещины - очень трудно.

Воздействие на изолятор внешней силы приводит к появлению в нем дополнительных напряжений, разрушению новых частиц и скачкообразному росту микротрещин. [1]

Для фарфора, как и для любого другого материала, существует предел напряжения превышение, которого приводит к разрушению конструкции (временное сопротивление).[6] Сила, соответствующая временному сопротивлению является предельной нагрузкой.

В период с 2002 г. по 2005 г. НПО «Логотех» обследовало виброакустическим методом ~ 50000 колонок опорно-стержневых изоляторов 110-220 кВ на 86 подстанциях, из них на 12 подстанциях обследование было проведено трижды и 37 подстанций обследовано дважды.

Проведенная работа показала, что:

- фарфоровые изоляторы вне зависимости от страны и завода-изготовителя имеют близкие (практически одинаковые) частотные характеристики;
- после первого обследования, 30 – 40 % изоляторов имеют в среднем удовлетворительное состояние, 7 – 15 % изоляторов находятся в аварийном состоянии (повторные обследования, проведенные спустя полгода – год, после ремонтной компании снижают этот показатель до ~ 0,1 – 1 %) и оставшиеся изоляторы требуют дополнительных проверок, так как их характеристики не удовлетворяют установленным критериям.

Проверка механического состояния изоляторов, забракованных виброакустическим методом, проведенная акустико-эмиссионным методом с помощью прибора ПАК-3М, показала полное совпадение результатов. [15,16]

Предельная нагрузка при изгибе стержня с жестким креплением одной стороны (заделка) и силой приложенной с другой стороны описывается выражением [6]:

$$P=\sigma I/Lr, (1)$$

где: P-предельная нагрузка (сила);
 σ -напряжение (в данном случае временное сопротивление);
L-длина стержня (изолятора);
r-радиус опасного сечения изолятора;
I-статический момент инерции опасного сечения изолятора.

Частоты собственных колебаний стержня с жестким креплением одной стороны (заделка) и свободным с другой стороны определяются выражением [5,7,8]:

$$\omega_i=(k_i)^2/L^2\cdot\sqrt{EI/\mu}, (2)$$

где: ω -частота собственных колебаний стержня (изолятора);
k-корень уравнений Крылова;
L- длина стержня;
E-модуль упругости материала;
I- статический момент инерции опасного сечения стержня;
 μ -масса единицы длины стержня;
i- собственная форма колебаний стержня (i=1,2,...).

В качестве отправной точки используется предельная нагрузка (несущая способность), тогда степень развития дефекта изолятора представляется в форме отношения предельной нагрузки поврежденного изолятора к предельной нагрузке неповрежденного изолятора:

$$P_1/P_0=I_1/I_0=(\omega_{i1}/\omega_{i0})^2, (3)$$

где: P_0 -предельная нагрузка неповрежденного изолятора;
 P_1 -предельная нагрузка поврежденного изолятора;
 I_0 -статический момент инерции опасного сечения неповрежденного изолятора;
 I_1 - статический момент инерции опасного сечения поврежденного изолятора;
 ω_{i0} - частота собственных колебаний неповрежденного изолятора;
 ω_{i1} - частота собственных колебаний поврежденного изолятора;
i- собственная форма колебаний изолятора (i=1,2,...).

Соотношение (3) справедливо также для продольных и крутильных нагрузок:

$$P_1/P_0=I_1/I_0=F_1/F_0=I_{p1}/I_{p0}=(\omega_{i1}/\omega_{i0})^2, (4)$$

где: F_0 - площадь опасного сечения неповрежденного изолятора (продольные колебания);

F_1 - площадь опасного сечения поврежденного изолятора (продольные колебания);

I_{p0} - полярный момент инерции опасного сечения неповрежденного изолятора (крутильные колебания);

I_{p1} - полярный момент инерции опасного сечения поврежденного изолятора (крутильные колебания)

Из соотношения (4) видно, что дефект можно обнаружить при любой форме колебаний изолятора. Вышеизложенное позволяет использовать виброакустический метод для определения механического состояния опорно-стержневых фарфоровых изоляторов. [2,9]

Для контроля механического состояния опорно-стержневого изолятора достаточно отследить изменение его собственных частот во времени. [2,9]

Основным критерием сохранения работоспособности опорно-стержневого изолятора является неизменность во времени его прочности, аналогом значения которой является частотная характеристика, в частности оценки спектральной плотности мощности (СПМ) вибрационной реакции изолятора на воздействие возмущения типа «белый шум».

Если по истечении некоторого времени эксплуатации СПМ вибрации изолятора осталась неизменной, то его прочность осталась на прежнем уровне. Если по истечении некоторого времени эксплуатации произошли изменения СПМ вибрации изолятора (появились дополнительные пики в области низких или высоких частот) – в изоляторе в течение этого времени происходило развитие дефекта.

3. Порядок проведения виброакустического контроля механического состояния опорно-стержневых изоляторов

3.1. Организационно-техническое обеспечение безопасного проведения работ.

Все работы производить в соответствии с "Межотраслевыми правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок с изменениями и дополнениями. (РД 153-34.0-03.150-00)", "Инструкцией по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках, технические требования к ним".

Лицо непосредственно работающий с изолированной штангой должен иметь группу по электробезопасности не ниже IV, остальные члены бригады – не ниже III группы по электробезопасности.

Не допускается применение металлических переносных лестниц.

При приближении грозы работы по регистрации реакции изоляторов необходимо прекратить.

Применяемые при работе средства защиты должны быть испытаны в соответствии с правилами. Перед каждым применением необходимо визуально проверять их работоспособность. При перемещениях работников по территории ОРУ изолированную штангу держать только в горизонтальном положении.

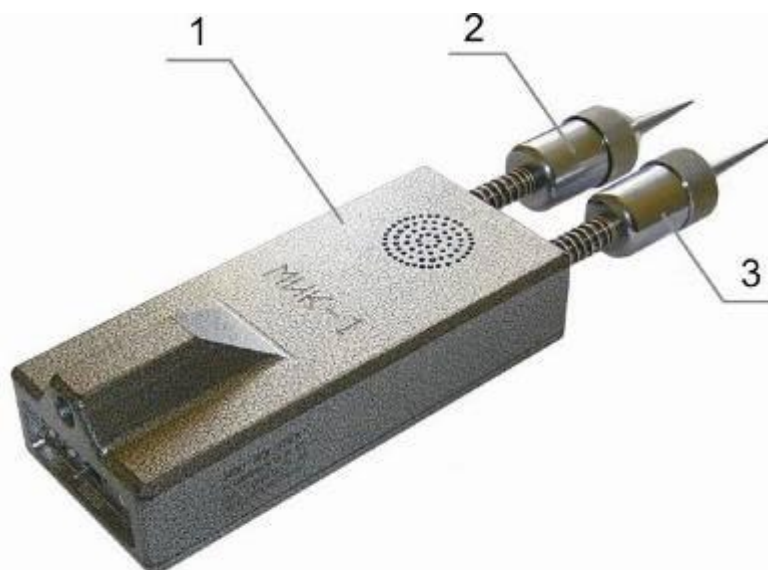
3.2. Технологическая карта на обследование опорно-стержневой изоляции вибро-акустическим методом.

Квалификация персонала (группа электробезопасности)	Электрослесарь 5 разряда (IV гр.) Электрослесарь 3 разряда (III гр.)
Условия труда и меры безопасности	Работы выполнять в обязательном порядке по наряду. Штанга оперативно-универсальная должна быть аттестованной и иметь действующий срок годности.
Состав бригады	Обследование производится бригадой в составе двух человек.
Приборы, приспособления и защитные средства	Блок регистрации МИК-1 Штанга оперативно-универсальная (ШОУ – 220, ШОУ – 110) Защитные каски
Последовательность операций	Оформление наряда-допуска бригады; Проведение работ по п. 2.2.4. «Руководства по эксплуатации» Проведение работ по п. 2.2.5. «Руководства по эксплуатации»

3.3 Общее описание Индикатора МИК-1.

Виброакустический контроль прочности опорно-стержневых изоляторов осуществляется мобильным индикаторным комплексом МИК-1 (далее Индикатор). Индикатор состоит из блока регистрации (далее БР) и пакета специализированных программ, которые устанавливаются на персональный компьютер. На Фото 1 приведен общий вид БР. На Фото 2 приведена панель управления БР.

Фото 1.
1 – корпус БР;
2 – щуп излучателя;
3 – щуп приемника.



- Фото2.
- 1 – индикатор состояния процессов – диод красного света;
 - 2 – индикатор питания – диод зеленого света;
 - 3 – тумблер включения-выключения питания;
 - 4 – резьбовое отверстие для крепления штанги или рукоятки;
 - 5 – окно скрытой кнопки сброса;
 - 6 – USB-порт.



3.4. Подготовка Индикатора к работе.

Перед началом работы необходимо провести подготовку Индикатора:

- а) проверить комплектность индикатора на соответствие упаковочному листу;
- б) провести зарядку аккумуляторов;
- в) проверить работоспособность БР, для чего перевести тумблер БР в положение «ВКЛ», при этом:
 - загорится первый диод (зеленый свет);
 - загорится второй диод (красный свет);
 - прозвучит порядковый номер регистрации, который сигнализирует, что БР Индикатора провел регистрацию (холостое измерение);
 - прозвучит число, означающее уровень сигнала (от 4 до 8);
 - диод красного цвета начнет мигать, сигнализируя о том, что данный уровень сигнала недостаточен, но при этом формируется файл измерения в памяти БР.

Перевести тумблер в положение «ВЫКЛ».

Примечание:

- 1) Номера озвучиваются перечислением цифр, например: «один-восемь» - порядковый номер измерения 18; «два-пять-шесть» - порядковый номер 256 и т.д.
- 2) Тумблер переводится в положение «ВКЛ» в двух случаях – для проверки заряда аккумуляторных батарей и для передачи данных при подключении к компьютеру. При непосредственной работе по обследованию изоляторов тумблер должен находиться в положении «ВЫКЛ»!

3.5. Выполнение измерений.

Для снятия механических характеристик изолятора, БР Индикатора установить на штангу оперативно-универсальную (ШОУ-110, ШОУ-220), для чего отвернуть цанговый зажим и, на освободившуюся шпильку М14, навернуть БР Индикатора (резьбовое отверстие 4, Фото 2).

Поднести БР к нижнему фланцу обследуемого изолятора, установить наконечники щупов на платформу крепления фланца (Фото 3), стараясь чтобы щупы были перпендикулярны основанию фланца (Фото 4).



Фото 3.



Фото 4.

Прижать БР Индикатора с усилием к опорной пластине изолятора и удерживать его в этом положении (~6 сек.) до окончания нижеперечисленных действий:

- загорится первый диод (зеленый свет);
- прозвучит порядковый номер измерения;
- загорится второй диод (красный свет);
- прозвучит шипение (излучатель выдает сигнал типа «белый шум»);
- прозвучит число, означающее уровень сигнала.

Отнять БР Индикатора от опорной пластины изолятора. Если уровень сигнала ниже 12 или выше 255 квантов (прозвучит число менее 12 либо выше 255) измерение следует повторить до получения приемлемого результата (от 12 до 255).

Пример ведения протокола:

Подстанция _____ ОРУ _____
Ячейка: _____

Диспетчерское наименование разъединителя		
Фаза	Обозначение стороны	Обозначение стороны
А	1	4
В	2	5
С	3	6

Примечание. Цифры с 1 по 6 - порядковые номера регистрации реакции изолятора, зарегистрированные БР.

3.6. Копирование информации в компьютер и ее обработка.

Для копирования информации с БР Индикатора в компьютер использовать кабель внешний USB, входящий в комплектацию.

Подключить кабель внешний USB к разъемам БР Индикатора и компьютера.

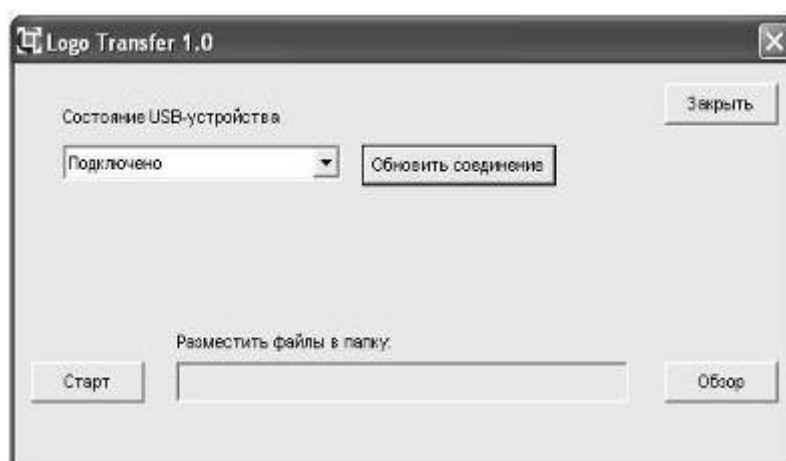
Создать папку для копирования в нее информации;

Перевести тумблер БР Индикатора в положение «ВКЛ»:

- загорится первый диод (зеленый свет);
- прозвучит порядковый номер последней регистрации и серия цифр «девять», что означает установление связи БР Индикатора с компьютером.

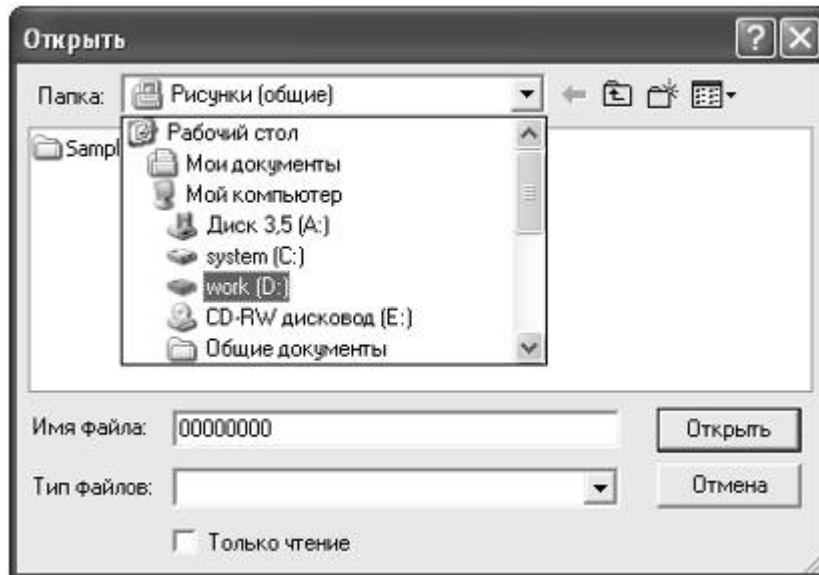
Включить программу «LogoTransfer 1.0», предназначенной для переноса информации (копирования результатов регистрации):

- в главном окне программы, в строке «Состояние USB-устройства» должна появиться надпись «Подключено», сообщающая об установке связи между БР Индикатора и компьютером. Если такой надписи нет, то необходимо нажать кнопку «Обновить соединение».



Нажать кнопку «Обзор»:

- откроется окно, в котором, в строке «Папка» выбрать ранее созданную папку;
- Поля «Имя файла» и «Тип файлов» заполнять не надо.



Нажать кнопку «Открыть»:

- откроется главное окно программы «LogoTransfer 1.0», в котором, в строке «Разместить файлы в папку» будет находиться выбранная папка.

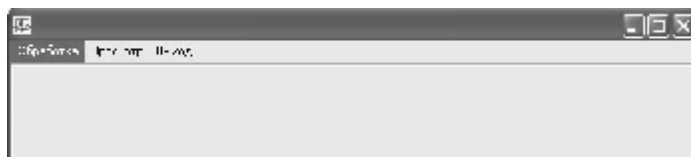
Нажать кнопку «Старт»:

- информация переместится (копируется) в выбранную папку.

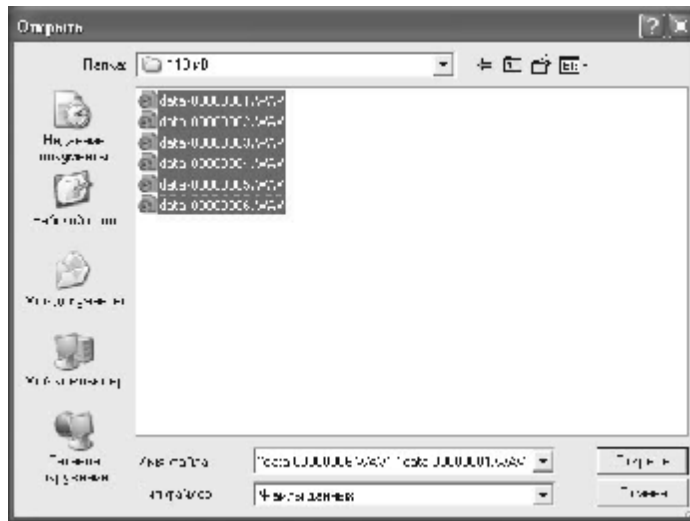
Нажать кнопку «Закреть»:

- закроется главное окно программы «LogoTransfer 1.0». Программа выключится, а перенесенная информация сохранится в компьютере.

Включить программу «LogoWork 1.0.», предназначенной для проведения обработки информации (результатов регистрации), для этого:

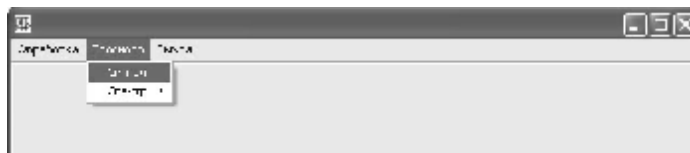


- в главном окне программы выбрать пункт меню «Обработка» и открыть его;
- откроется окно, в котором, в строке «Папка» выбрать ранее созданную папку, в которую перенесена (скопирована) информация (результаты измерений). Поля «Имя файла» и «Тип файлов» не заполнять;
- отметить файлы, которые подлежат обработке;
- нажать кнопку «Открыть».



В главном окне программы LogoWork 1.0.:

- перейти в пункт меню «Просмотр»;

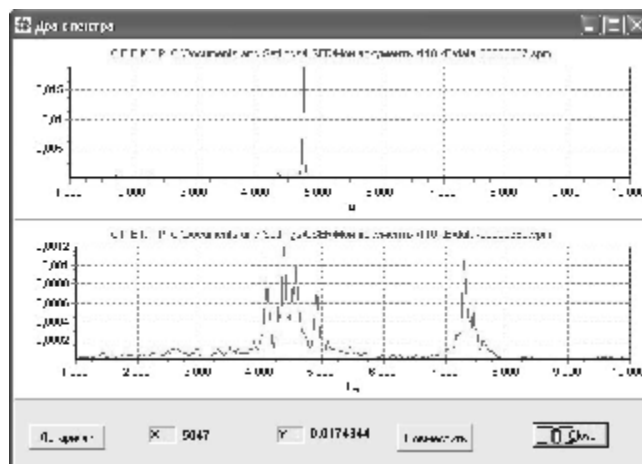


- выбрать в пункт меню «Спектр»;
- выбрать необходимое количество графиков и открыть этот пункт меню;



В открывшемся окне:

- строке «Папка» выбрать ранее созданную папку, в которую перенесена (скопирована) информация (результаты измерений). Поля «Имя файла» и «Тип файлов» не заполнять.
- отметить файлы, которые подлежат просмотру;
- нажать кнопку «Открыть».



В появившемся окне будут расположено заданное количество графиков нормированных оценок СПМ вибрации изоляторов. По оси ординат обозначены относительные единицы интенсивности спектра, по оси абсцисс частота в герцах. Графики можно совмещать кнопкой «Совместить». По оси ординат можно задать логарифмический масштаб. Для этого нажимается кнопка «Логарифм», для возвращения нажимается кнопка «Линейный».

4. Проведение анализа и выдача заключения.

4.1. Теоретические основы.

Состояние опорно-стержневого фарфорового изолятора определяется по величине его механической прочности, а именно несущей способности (минимальное усилие, при котором может произойти разрушение изолятора), которая определяется по оценке спектральной плотности мощности (СПМ) реакции изолятора на воздействие случайной вибрации с плоским спектром.

Несущая способность или предельная нагрузка это нагрузка, при которой изолятор ломается, вычисляется по формуле:

$$P_1/P_0 = (\omega_1/\omega_0)^2, \quad (5)$$

где: P_0 -предельная нагрузка неповрежденного изолятора;

P_1 -предельная нагрузка поврежденного изолятора;

ω_0 - частота пика СПМ вибрации неповрежденного изолятора;

ω_1 - частота пика СПМ вибрации поврежденного изолятора.

4.2. Критерии оценки механического состояния изоляторов по результатам измерений.

Основным критерием сохранения механической прочности опорно-стержневого изолятора является неизменность во времени его частотных характеристик, в частности, оценка спектральной

плотности мощности реакции изолятора на вибрационное возбуждение со спектром типа «белый шум».

4.2.1. Критериями оценки механического состояния изоляторов при первом обследовании, проведенном при положительной температуре, являются:

а) изолятор в удовлетворительном состоянии:

наличие одного максимума на СПМ в диапазоне частот 4000-5000Гц (основная или определяющая частота ~4500Гц это частота стоячей волны в изоляторе);

Примечание. Стоячая волна – колебания, возникающие в распределенной системе (например, в упругой среде) в результате интерференции двух бегущих волн, амплитуды которых одинаковы, а направления распространения взаимно противоположны (стоячая волна в отличие от бегущей не переносит энергию) [10].

б) изолятор в неудовлетворительном состоянии (однозначная отбраковка – снижение несущей способности изолятора в 2.5 – 25 раз):

– наличие соизмеримых по интенсивности (разница в районе ~3 дБ (~1,5 раза)) максимумов на СПМ в диапазонах частот: 1000-3000Гц – первый и 4000-5000Гц – второй;

– наличие одного максимума на СПМ в диапазоне частот 1000-2000Гц;

– наличие соизмеримых по интенсивности максимумов на СПМ в диапазонах частот: 4000-5000Гц – первый и 8000-10000Гц – второй;

в) все оставшиеся случаи требуют обследования более точными методами: либо акустико-эмиссионного контроля (прибором ПАК-3М), либо ультразвуковым методом (УЗНК).

4.2.2. Повторное обследование виброакустическим методом, проведенное по истечении 6-8 месяцев (после окончательного перехода среднесуточной температуры через 0°C), позволяет уточнить механическое состояние изоляторов.

4.3. Анализ результатов обследования.

а) Изолятор в удовлетворительном состоянии.

Изолятор, изготовленный без отклонений от требований технологических процессов вне зависимости от страны-производителя, завода-изготовителя и температуры окружающей среды, имеет оценку СПМ вибрации с одним пиком в области 4500Гц (Рис.1, 2, 10, 11).

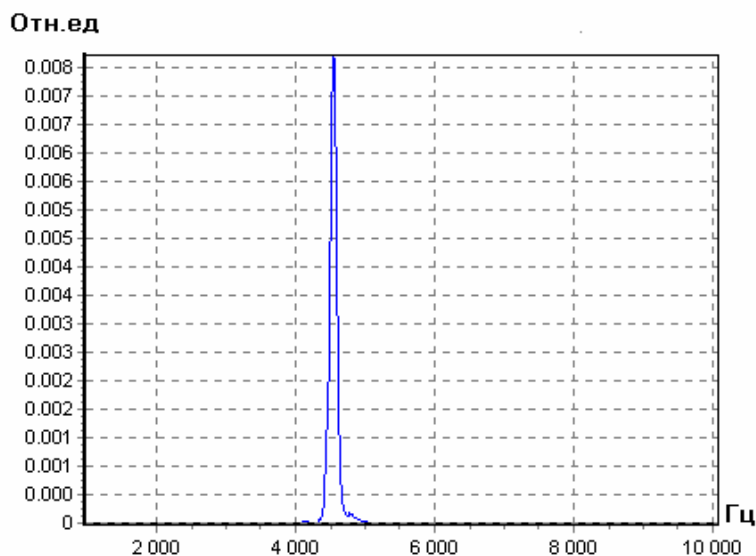


Рис 1. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ.

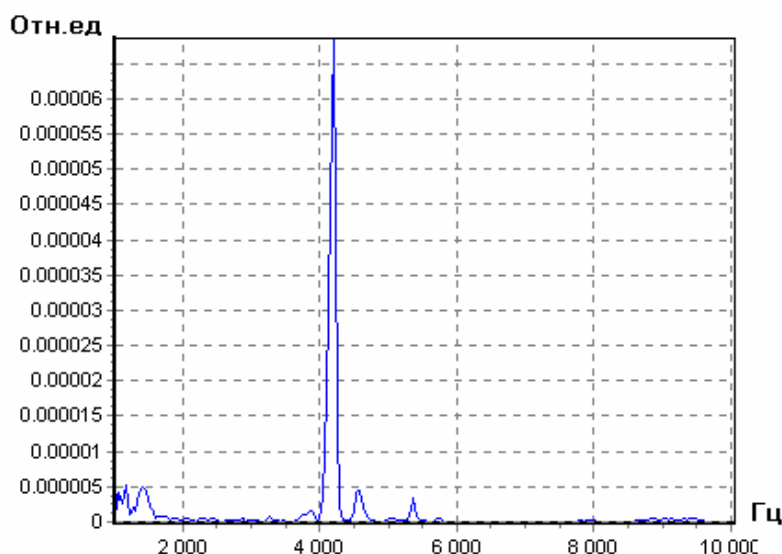


Рис 2. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-220 кВ.

б) Изоляторы в неудовлетворительном состоянии (однозначная отбраковка).

Изоляторы, имеющие дефект (повреждение) в районе нижнего фланца, на оценке СПМ вибрации имеют пики кроме основного (определяющего) на частоте 4500Гц еще в районе 1000-3000Гц (Рис. 3, 4, 5, 6, 7, 17).

Изолятор, имеющий дефект (повреждение) в районе верхнего фланца на оценке СПМ вибрации имеет пики кроме основного (определяющего) на частоте 4500Гц еще и в районе 8000-10000Гц. См. Рис. 8, 9, 15.

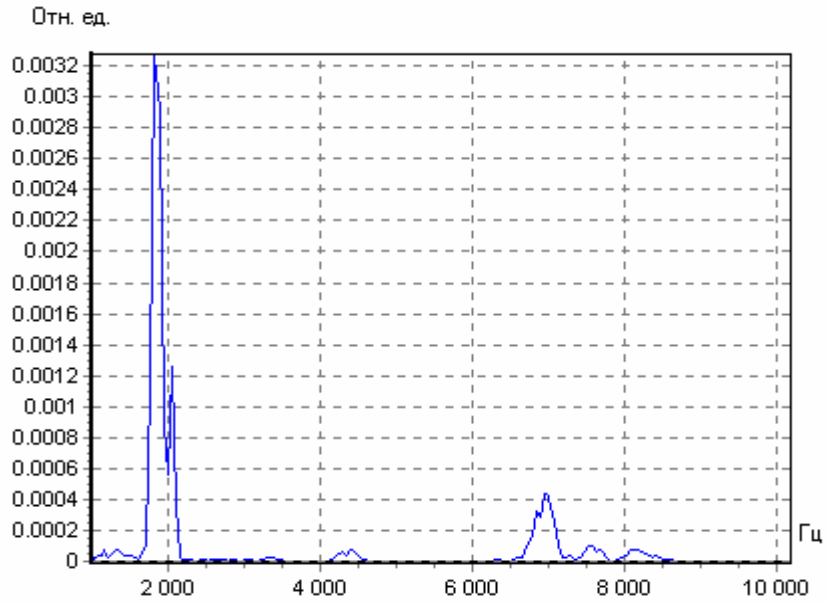


Рис.3. Оценка СПМ вибрации опорного изолятора, находившегося в неудовлетворительном состоянии (внутренняя (невидимая) трещина у нижнего фланца нижнего изолятора), ОРУ-220 кВ.

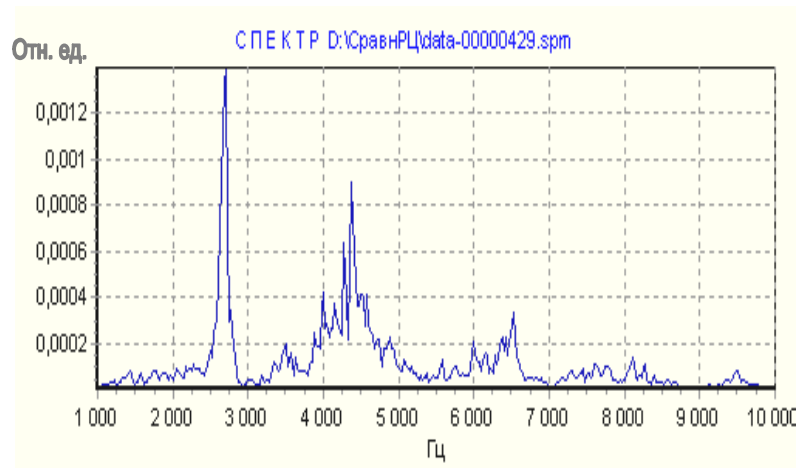


Рис. 4. Оценки СПМ вибрации изолятора, ОРУ-220кВ. Изолятор сломался при переключении. Излом в районе нижнего фланца.

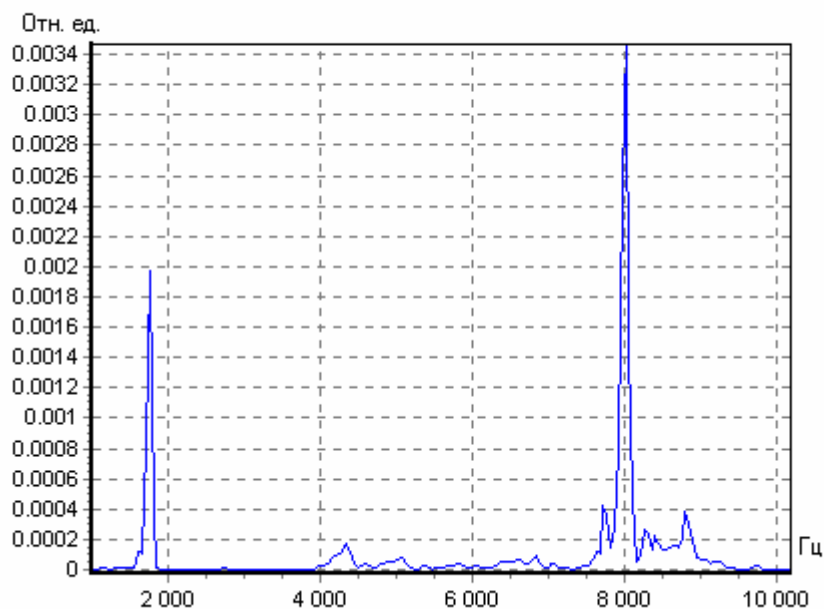


Рис. 5. Оценка СПМ вибрации изолятора, в неудовлетворительном состоянии (сломался при отключении верхний изолятор), ОРУ-220 кВ. Излом в районе нижнего фланца.

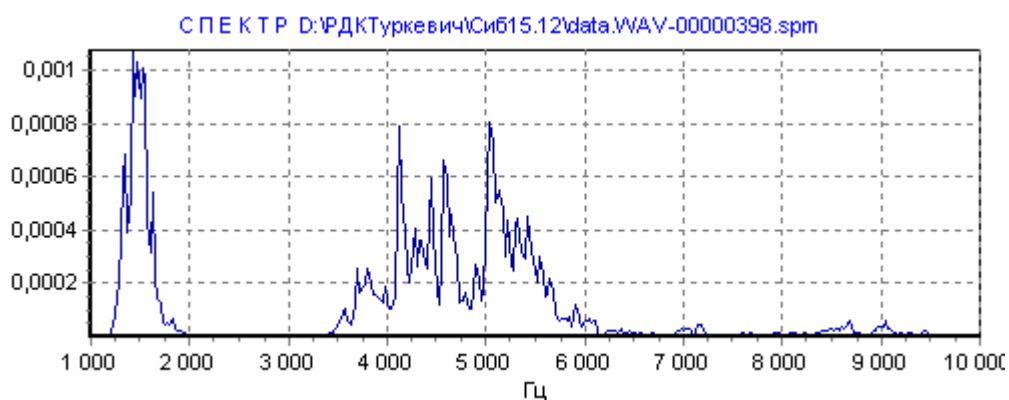


Рис. 6. Оценка СПМ вибрации изолятора, в неудовлетворительном состоянии. Дефект в районе нижнего фланца. ОРУ-110 кВ.

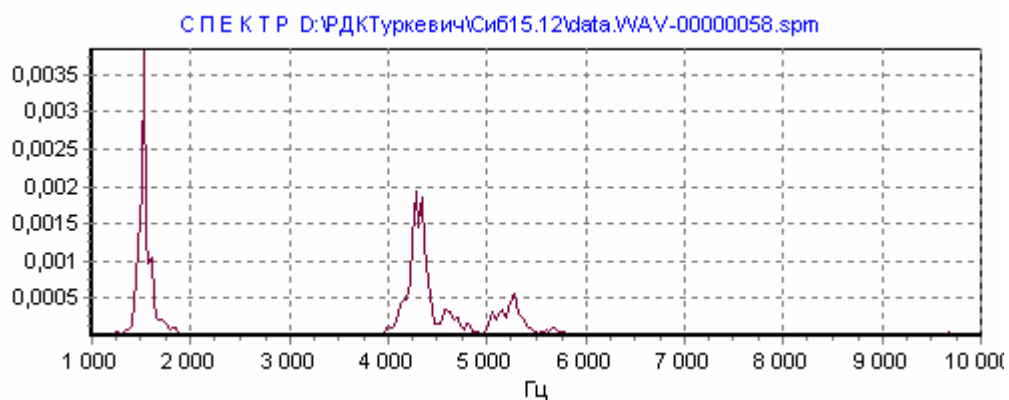


Рис. 7. Оценка СПМ вибрации изолятора, в неудовлетворительном состоянии. Дефект в районе нижнего фланца. ОРУ-110 кВ.

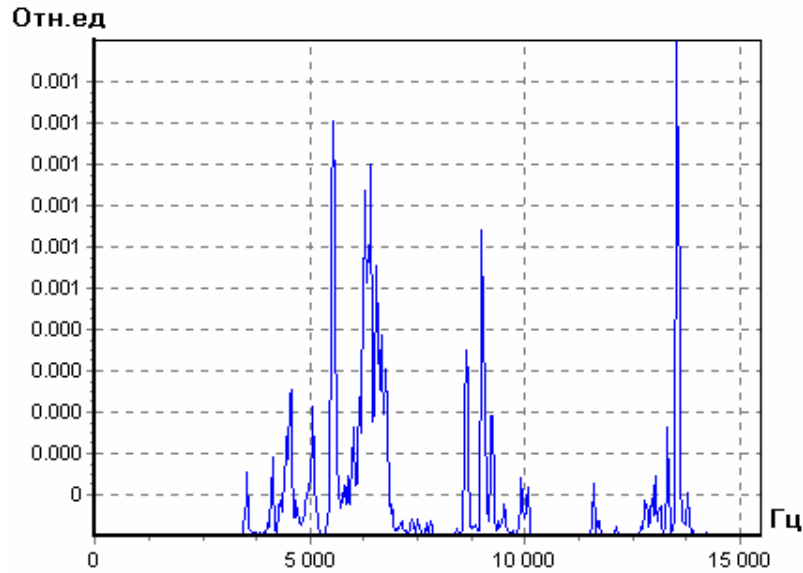


Рис. 8. Оценка СПМ вибрации изолятора, имеющего трещину в районе верхнего фланца, ОРУ-110 кВ.

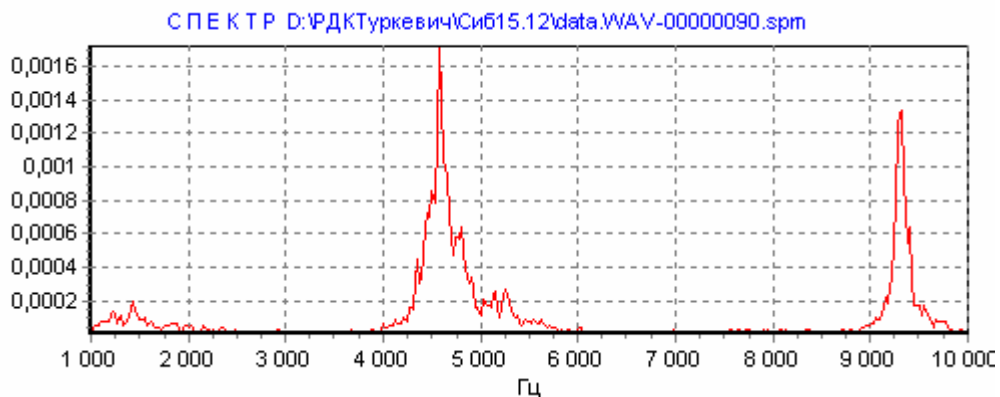


Рис. 9. Оценка СПМ вибрации изолятора, имеющего дефект в районе верхнего фланца, ОРУ-110 кВ.

На графике Рис.5. кроме пиков на частотах 4500Гц и 1800Гц присутствует пик на частоте 8000Гц, указывающий на повреждение во втором изоляторе (в большинстве случаев определить повреждение (дефект) на конкретном изоляторе в колонке затруднительно).

Изоляторы, имеющие оценки СПМ вибрации близкие к приведенным на Рис. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 подлежат замене.

в) анализ результатов повторного обследования механического состояния изоляторов. При переходе среднесуточной температуры через нуль (установление

устойчивой положительной или отрицательной температуры окружающей среды) у изоляторов, напитавших влагу либо имеющих «рыхлый» армировочный шов меняется жесткость (механическая). Это явление отслеживается СПМ вибрации изолятора. На графиках Рис.10,11,12,13,14,15,16,17 приведены характерные оценки СПМ вибрации изоляторов, полученные при положительной и отрицательной температурах окружающей среды.

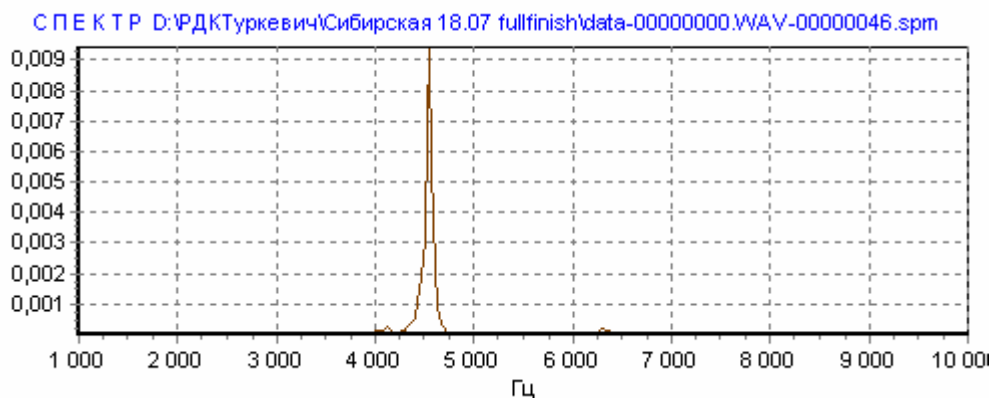


Рис. 10. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ. Температура воздуха – плюс 26°С. Масштаб – линейный.

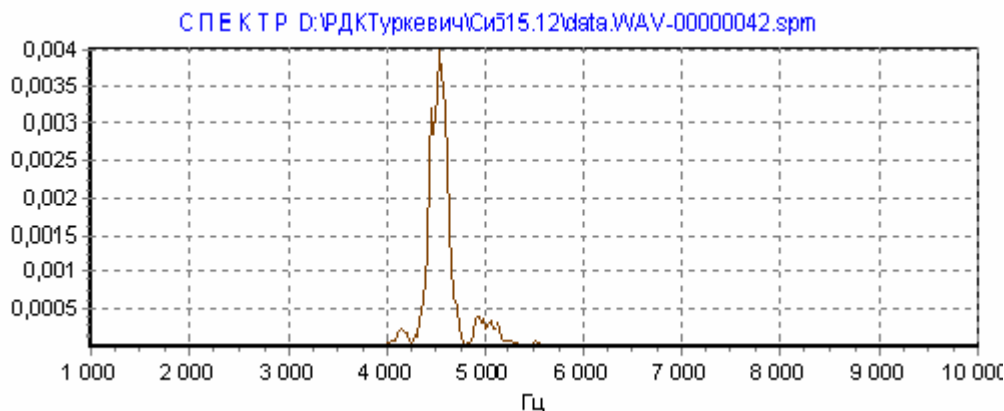


Рис. 11. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ. Температура воздуха – минус 8°С. Масштаб – линейный.

На графиках Рис. 10, 11 приведены оценки СПМ вибрации изолятора, находящегося в удовлетворительном состоянии. При переходе среднесуточной температуры с плюса на минус частотный состав вибрации изолятора не изменился, следовательно, механическая прочность его осталась на прежнем уровне.

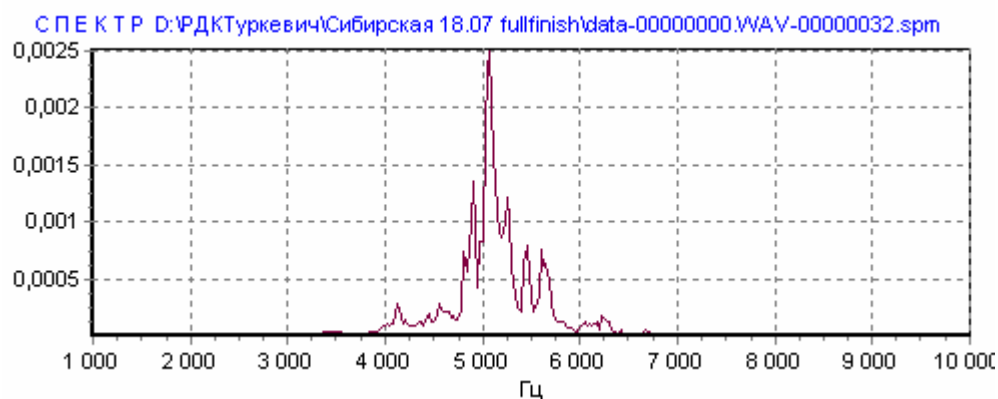


Рис. 12. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ. Температура воздуха – плюс 26°C. Масштаб – линейный.

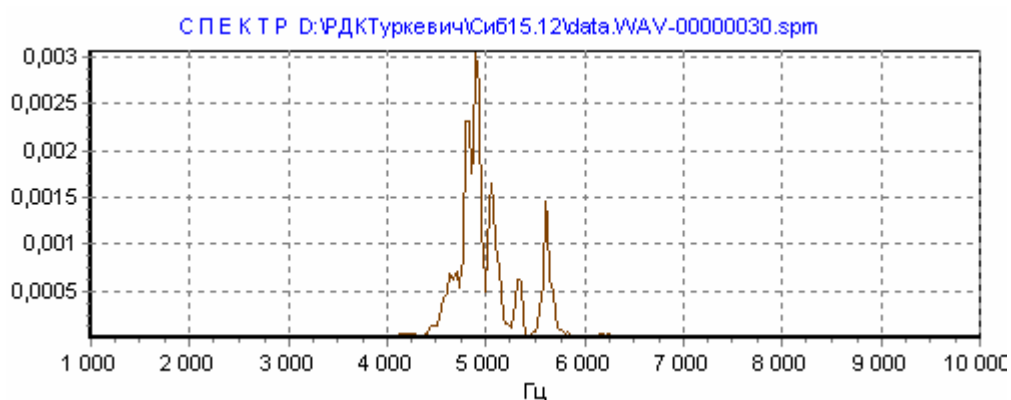


Рис. 13. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ. Температура воздуха – минус 8°C. Масштаб – линейный.

На графиках Рис. 12, 13 приведены оценки СПМ вибрации изолятора, находящегося в удовлетворительном состоянии. При переходе среднесуточной температуры с плюса на минус частотный состав вибрации изолятора изменился незначительно, поэтому механическая прочность его также изменилась незначительно.

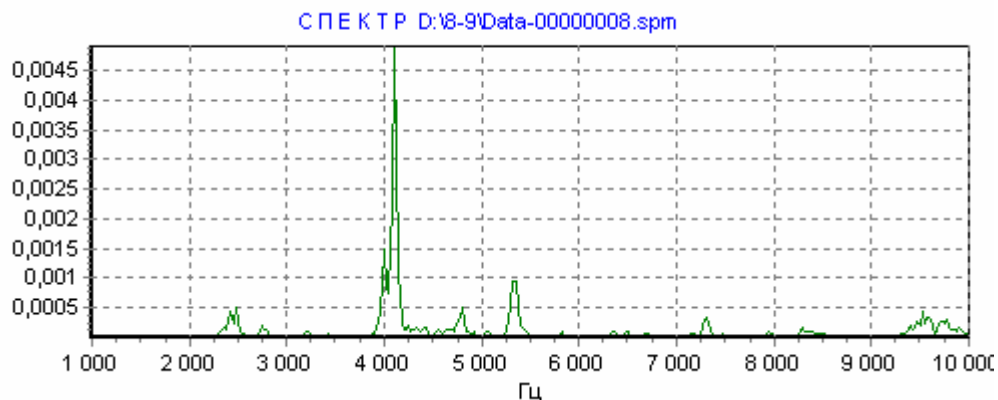


Рис. 14. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ Температура воздуха – плюс 26°C. Масштаб – линейный.

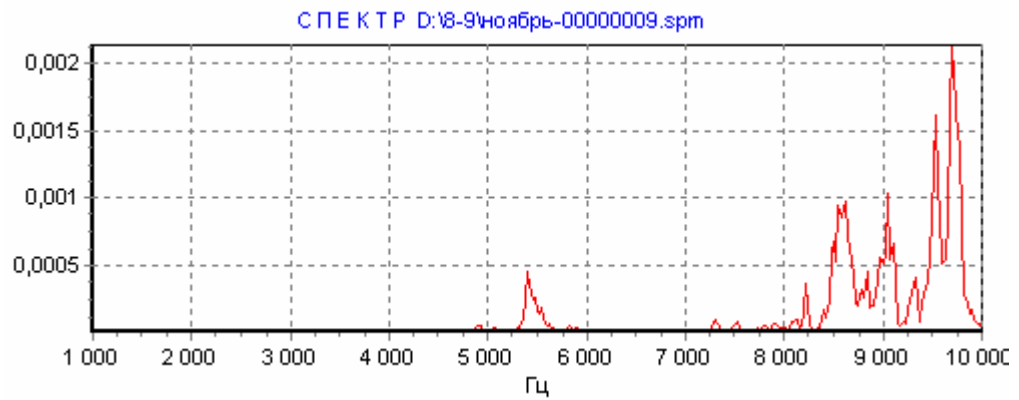


Рис. 15. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ Температура воздуха – минус 8°C. Масштаб – линейный.

На графиках Рис. 14, 15 приведены оценки СПМ вибрации изолятора, который при переходе среднесуточной температуры с плюса на минус получил значительное повреждение в районе верхнего фланца. Несущая способность этого изолятора уменьшилась в ~ 5 раз.

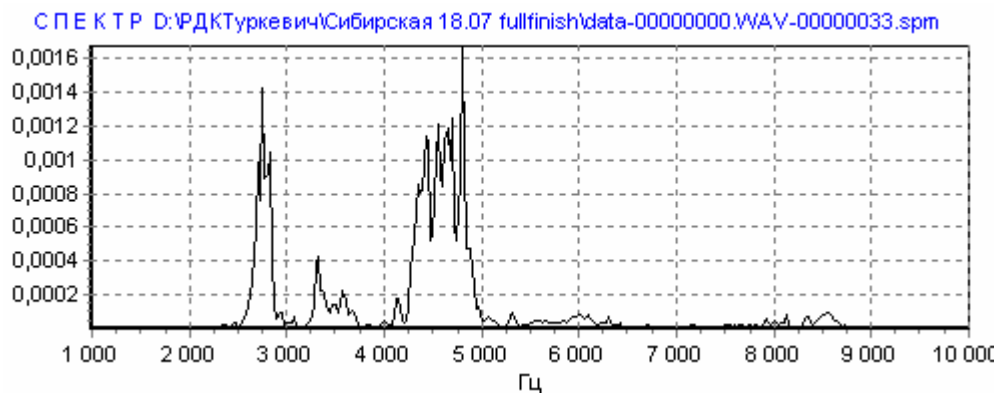


Рис. 16. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ Температура воздуха – плюс 26°C. Масштаб – линейный.

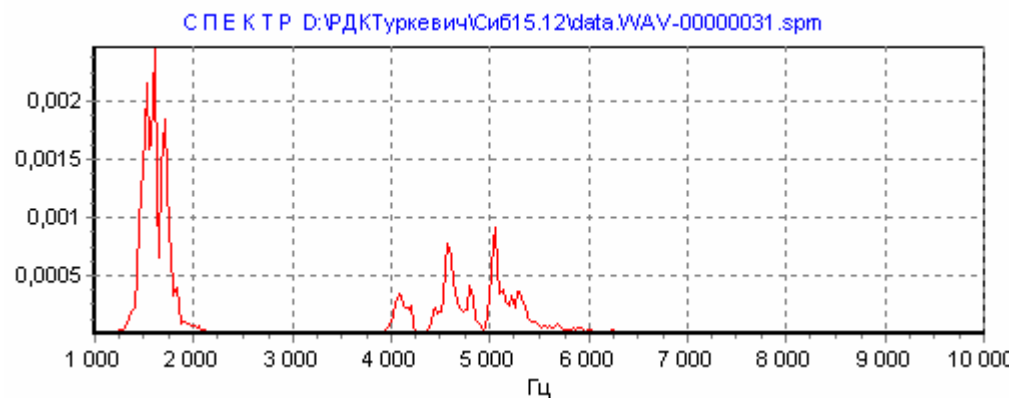


Рис.17. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ. Температура воздуха – минус 8°C. Масштаб – линейный.

На графиках Рис. 16, 17 приведены оценки СПМ вибрации изолятора, который при переходе среднесуточной температуры с плюса на минус получил значительное повреждение в районе нижнего фланца. Несущая способность этого изолятора уменьшилась в ~ 9 раз.

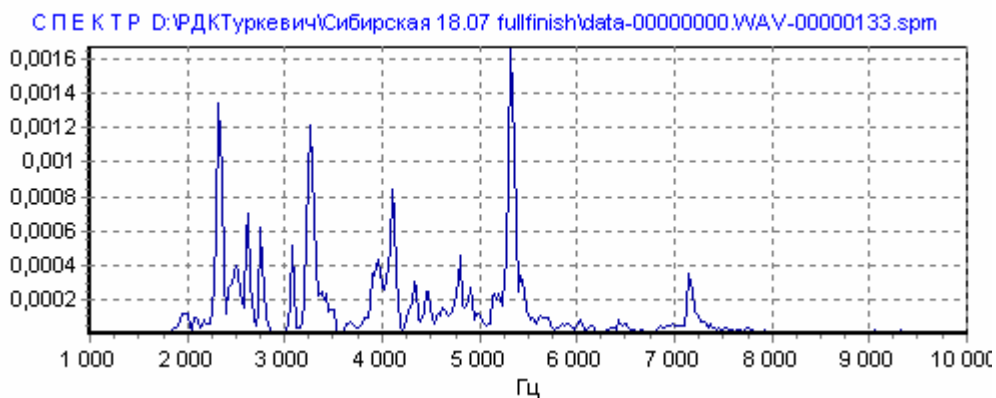


Рис. 18. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ Температура воздуха – плюс 26°C. Масштаб – линейный.

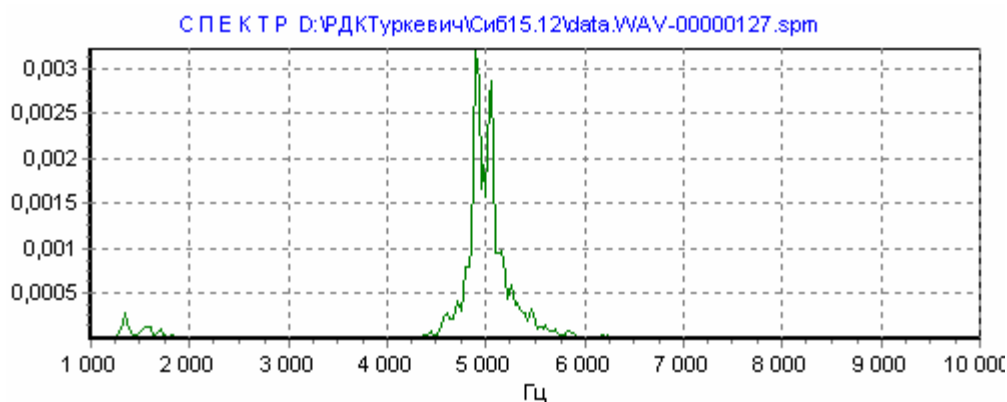


Рис.19. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ. Температура воздуха – минус 8°C. Масштаб – линейный.

На графиках Рис. 18, 19 приведены оценки СПМ вибрации изолятора, у которого при переходе среднесуточной температуры с плюса на минус механическая жесткость изолятора возросла. Это явление может быть следствием двух причин:

- наличием в изоляторе некоторого количества влаги недостаточного для его повреждения и, вследствие ее замерзания, приводящее к увеличению жесткости изолятора;
- неоднородности (рыхлости) армировочных швов, которые уплотнились из-за различия коэффициентов линейного расширения чугуна и фарфора при понижении температуры, что также повысило жесткость изолятора.

В любом случае для принятия решения требуется проведение дополнительного обследования при переходе среднесуточной температуры с минуса на плюс.

г) в случаях, когда невозможно принять решения по оценкам СПМ в линейном масштабе полезно рассмотреть данные в логарифмическом масштабе. Этот прием позволяет выявить тенденцию развития дефекта в изоляторе. На графиках Рис. 20, 21 приведены оценки СПМ вибрации изолятора в линейном и логарифмическом масштабе. Если по графику Рис. 20. невозможно определить к какой категории относится данный изолятор (кроме основной частоты 4500Гц присутствуют частоты 3800Гц и 5000Гц), то на графике Рис. 21. видно, что в диапазонах «критических» частот (1000-3000Гц и 8000-10000Гц) интенсивность вибрации мала, следовательно этот изолятор находится в удовлетворительном состоянии.

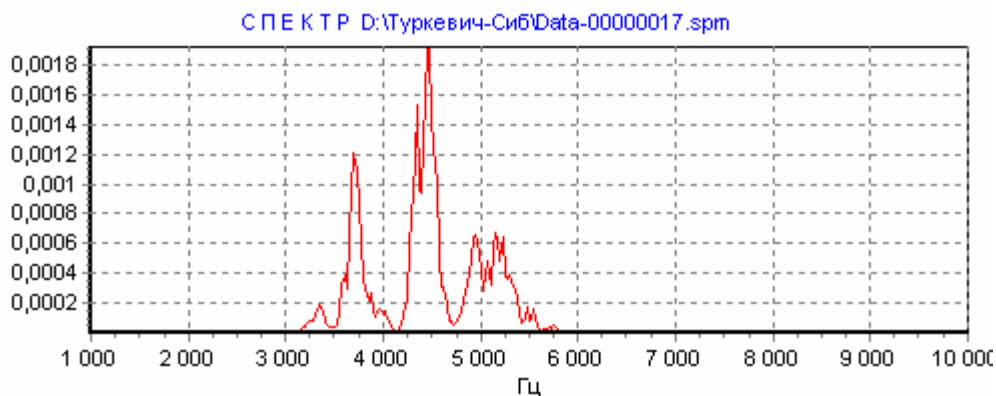


Рис. 20. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ.
Масштаб – линейный.

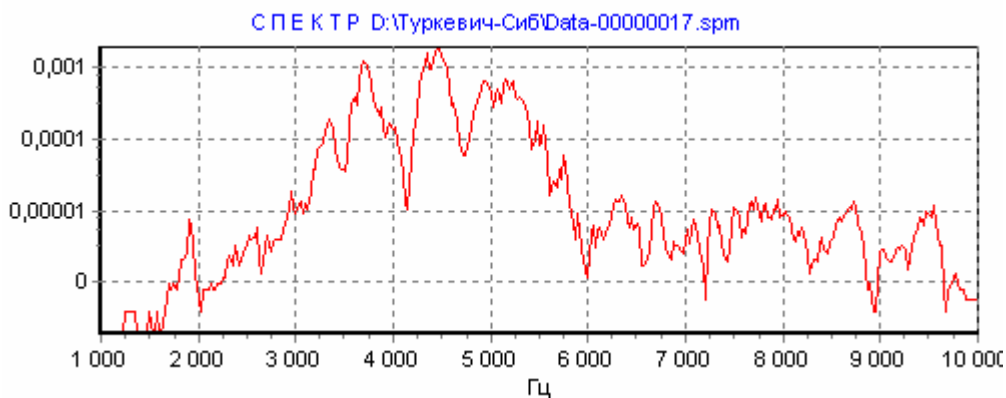


Рис. 21. Оценка СПМ вибрации изолятора, ОРУ-110 кВ.
Масштаб – логарифмический.

После окончания анализа составляется таблица, в которой приводятся результаты обследования, на основании которых принимается решение об организационно-технических мероприятиях.

5. Список использованных источников

1. Кухтиков В.А., Воротницкий В.Э., Демин А.Н. «Методы и средства контроля опорно-стержневой фарфоровой изоляции высоковольтных разъединителей». Энергетик, 2002, № 9.
2. Кухтиков В.А., Воротницкий В.Э., Демин А.Н., Шейкин А. А. «Методические указания по эксплуатационному контролю механического состояния фарфоровых опорно-стержневых изоляторов разъединителей 110 кВ и выше и фарфоровых покрышек высоковольтных воздушных и масляных выключателей» Отчет. Шифр 316-8-064/4 от 05 апреля 2003.
3. Емельянов В. И. «ОТЧЕТ по первому этапу разработки мобильного измерительного комплекса для определения технического состояния опорно-стержневых изоляторов (в том числе и под рабочим напряжением)» от 15 июня 2005.
4. Бабаков И. М. «Теория колебаний». Москва, 1968 г.
5. Беляев Н. М. «Соппротивление материалов». Москва, 1956 г.
6. «Вибрации в технике». Справочник. Под редакцией В. В. Болотина. Москва, 1978 г.
7. «Прочность, устойчивость, колебания». Справочник. Под редакцией И. А. Биргера и Я. Г. Пановко. Москва, 1968 г.
8. Емельянов В. И., Тукачев И. Г. «Определение технического состояния опорно-стержневой изоляции без отключения от сети». Сборник «Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования». Выпуск 28. Под редакцией А. И. Таджибаева и В. Н. Осотова. Санкт-Петербург, 2005 г.
9. Новый политехнический словарь. Под редакцией А. Ю. Ишлинского. Б. Р. Э. Москва. 2000 г.
10. Решение о выдаче патента на изобретение № 2003120314/28(021464) от 15.10.2005 г. «Способ диагностики технического состояния опорно-стержневого фарфорового высоковольтного изолятора».
11. Патент на изобретение № 2262696 «Устройство для испытания электротехнического оборудования».
12. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005612967.
13. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005612968.
14. ГОСТ Р 52034-2003 «Изоляторы керамические опорные на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия.»
15. Протокол испытаний опорных стержневых изоляторов ПС «Козырево», забракованных по методу НПО «Логотех». Челябинское предприятие магистральных электрических сетей – филиал ОАО «ФСК ЕЭС». 2004 г.
16. Протокол обследования технического состояния опорно-стержневых фарфоровых изоляторов подстанции «Полевская» мобильным индикаторным комплексом МИК-1 без отключения рабочего напряжения. 2005 г.