

# **МОБИЛЬНЫЙ ИНДИКАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС**

## **МОДЕЛИ МИК-1 И МИК-2**

Методические указания

Д 427613-001-30992818-2019

Настоящие методические указания (МУ) содержат описание резонансного метода акустического неразрушающего контроля состояния механической прочности изоляторов керамических опорных (изоляторов), используемых для изоляции и крепления токоведущих частей в электрических аппаратах распределительных устройств и в токопроводах переменного тока электрических подстанций с напряжением от 35 до 500 кВ (РА-метод).

Прежнее наименование «виброакустический» метод больше не может быть использовано в связи с изменениями в терминологии, установленной нормативной документацией. Наименование используемого метода неразрушающего контроля приведено в соответствие с ГОСТ Р 56542-2015 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов» и ГОСТ 23829-85 «Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения».

МУ разработаны на основе опыта консультирования специалистов диагностических служб предприятий ПАО «Россети» по применению РА-метода и эксплуатации аппаратно-программных средств контроля с учётом предложений и рекомендаций.

Применение РА-метода основано на прямой взаимосвязи между механической прочностью и жёсткостью стержневой системы, отображением которой являются частотные характеристики резонансной вибрации системы под воздействием вынужденной случайной вибрации с плоским спектром (ЧХВР).

Целью обследования изоляторов РА-методом является определение текущего вида состояния механической прочности изолятора.

При обследовании изоляторов РА-методом выполняют следующие задачи:

- 1) мониторинг ЧХВР изолятора;
- 2) анализ ЧХВР изолятора и постановка диагноза.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Объекты контроля.....	4
2 Средства контроля .....	5
3 Общий порядок работы .....	6
4 Организационно-технические мероприятия для обеспечения безопасного производства работ.....	8
5 Мониторинг ЧХВР изолятора.....	9
5.1 Подготовка к работе .....	9
5.2 Мониторинг ЧХВР изоляторов, находящихся в составе оборудования.....	9
5.3 Мониторинг ЧХВР изоляторов, находящихся не в составе оборудования .....	15
5.4 Мониторинг ЧХВР изоляторов с применением автоматической идентификации по штрих-коду .....	20
5.5 Мониторинг ЧХВР изоляторов с применением беспроводной передачи данных .....	21
5.6 Рекомендации .....	22
6 Анализ ЧХВР изолятора и постановка диагноза .....	23
6.1 Изоляторы с «жестким» армировочным швом .....	23
6.2 Изоляторы с «эластичным» армировочным швом .....	37
6.3 Рекомендации .....	44
7 Планирование обследований .....	50
Приложение А (обязательное). Физические основы резонансного метода акустического неразрушающего контроля.....	51
Приложение Б (справочное). Нормативы трудозатрат при выполнении обследований опорно-стержневых изоляторов без отключения рабочего напряжения мобильными индикаторными комплексами моделей МИК-1 и МИК-2 .....	67

## 1 Объекты контроля

Объектами контроля являются изоляторы, используемые в электроустановках напряжением от 35 до 500 кВ, а также изоляторы, находящиеся не в составе оборудования.

Мониторинг ЧХВР изоляторов, находящихся в составе оборудования, выполняют как с отключением, так и без отключения рабочего напряжения. Мониторингу ЧХВР без отключения рабочего напряжения подлежат только изоляторы и составные колонки изоляторов, установленные вертикально на шинных опорах, на наружных двухполюсных разъединителях горизонтально-поворотного, вертикально-рубящего, полупантографного и двухразрывного типов, на наружных разъединителях пантографного типа с вертикальным разрывом.

По конструктивному исполнению изоляторы условно разделены на типы:

- *изоляторы с «жёстким» армировочным швом;*
- *изоляторы с «эластичным» армировочным швом.*

Изоляторы с «жёстким» армировочным швом – это те изоляторы, у которых жёсткость армировочного шва соизмерима с жёсткостью фланцев и фарфорового тела.

У изоляторов с «эластичным» армировочным швом жёсткость армировочного шва ниже жёсткости фланцев и фарфорового тела.

Изоляторы с «жёстким» армировочным швом наиболее распространены, выпускаются российскими, китайскими и европейскими производителями.

Изоляторы с «эластичным» армировочным швом выпускаются некоторыми производителями из Китая и западной Европы (например, АBB и PCC).

## 2 Средства контроля

Для обследования изоляторов РА-методом применяют мобильный индикаторный комплекс моделей МИК-1 и МИК-2 (Индикаторный Комплекс).

Мониторинг ЧХВР изолятора выполняют с использованием блока регистрации (БР).

Анализ ЧХВР изолятора и постановку диагноза выполняют с использованием программных приложений из пакета специализированного программного обеспечения (СПО), установленного на персональном компьютере (ПК) или портативном устройстве (ПУ).

Описание и порядок работы с Индикаторным Комплексом, требования к ПК и ПУ указаны в соответствующем руководстве по эксплуатации (РЭ) для каждой модели Индикаторного Комплекса.

Порядок установки и удаления компонентов СПО указан в соответствующем руководстве по установке СПО для каждой модели и модификации Индикаторного Комплекса.

Описание и порядок работы с программными приложениями из пакета СПО указаны в соответствующем руководстве пользователя для каждого программного приложения.

### 3 Общий порядок работы

Весь цикл работ состоит из шести основных последовательных этапов:

№1 подготовка к работе;

№2 идентификация изолятора;

№3 регистрация ЧХВР изолятора;

№4 ввод результатов регистрации;

№5 анализ ЧХВР изолятора и определение вида состояния механической прочности изолятора;

№6 выпуск отчётных документов.

Этапы №№ 1 – 3 связаны с мониторингом ЧХВР изолятора.

Этап № 1 включает в себя мероприятия по допуску на объект и подготовке оборудования. Этапы №2 и №3 выполняют непосредственно на месте размещения изоляторов (ОРУ или склад резервных изоляторов), этапы №№ 4 – 6 могут быть выполнены на любом рабочем месте.

Идентификацией изолятора называется определение расположения обследуемого изолятора на ОРУ относительно диспетчерского наименования разъединителя, полюса и фазы разъединителя, назначения изолятора (поворотный, опорный подставной или опорный шлейфовый) или определение заводского номера изолятора, находящегося не в составе оборудования. Идентификацию изолятора выполняют визуально с записью данных в протокол регистрации, автоматически по штрих-коду или визуально с указанием изолятора на схеме расположения на сенсорном экране ПУ.

Регистрацией ЧХВР изолятора называются действия с применением БР по воздействию на обследуемый изолятор механической вибрацией с частотным спектром типа «белый шум», регистрации резонансных колебаний изолятора и записи принятого сигнала во внутреннюю память БР.

Результатом регистрации называется записанная во внутренней памяти БР информация, содержащая параметры принятого сигнала, метку порядкового номера записи (для всех моделей и модификаций) и дополнительные параметры (уровень принятого сигнала, метка даты и времени, идентификационный код) в зависимости от модификации Индикаторного Комплекса модели МИК-2.

Вводом результатов регистрации называются действия по передаче результатов регистрации из внутренней памяти БР в память ПК или ПУ и их запись в базу данных (БД) соответствующего программного приложения. Передачу результатов регистрации выполняют вручную через USB-интерфейс или автоматически по беспроводному соединению в момент регистрации ЧХВР изолятора при использовании соответствующих функций Индикаторных Комплексов модели МИК-2. Запись в базу данных выполняют вручную с использованием данных из протокола регистрации или автоматически при использовании соответствующих функций Индикаторных Комплексов модели МИК-2.

Анализ ЧХВР изолятора выполняют с применением СПО. Для постановки диагноза используют основной и дополнительные критерии допуска (см. раздел 6).

Критерием допуска по ГОСТ Р 53697-2009 «Контроль неразрушающий. Основные термины и определения» называется критерий, на основании которого устанавливается пригодность образца продукции.

Результатом обследования является записанная в БД соответствующего программного приложения информация, содержащая ЧХВР изолятора и оценку его состояния механической прочности.

Выпуск отчётных документов по результатам обследования может быть выполнен с использованием функции автоматической генерации документа по шаблону в соответствующем программном приложении.

## **4 Организационно-технические мероприятия для обеспечения безопасного производства работ**

К работе с Индикаторным Комплексом допускается персонал, прошедший обучение для эксплуатации Индикаторного Комплекса и применения настоящей методики.

Все работы производить в соответствии с нормативными документами, действующими на территории эксплуатации Индикаторного Комплекса.

Для мониторинга ЧХВР изолятора следует использовать исправный БР, технически обслуженный в установленные сроки.

Эксплуатационные ограничения при использовании компонентов Индикаторного Комплекса указаны в соответствующем РЭ для каждой модели.

При мониторинге ЧХВР изоляторов без отключения рабочего напряжения регистрацию ЧХВР изолятора выполняют на нижнем фланце изолятора, установленного на изолированной от токоведущих элементов и заземлённой раме разъединителя или раме столба шинной опоры. Фактически регистрацию ЧХВР изолятора без отключения рабочего напряжения выполняют на элементах конструкции, на которых отсутствует потенциал.

При мониторинге ЧХВР изоляторов не допускается контакт с токоведущими элементами, находящимися под рабочим напряжением.

При мониторинге ЧХВР изоляторов без отключения рабочего напряжения применение грузоподъёмных механизмов, выполнение работ на высоте и подготовка рабочего места не требуются.

Допускается выполнять мониторинг ЧХВР изоляторов без отключения рабочего напряжения по распоряжению без оформления наряда-допуска.

Для подъёма БР к месту установки его щупов рекомендуется использовать штангу изолирующую оперативную (штангу) для класса напряжения от 35 кВ и выше независимо от класса напряжения ОРУ, на котором выполняются работы. Длину штанги выбирают в зависимости от фактической высоты расположения нижнего фланца обследуемого изолятора относительно земли с учётом толщины снежного покрова.

Штанга должна иметь наконечник с наружной резьбой М14. Допускается применять резьбовые адаптеры.

При перемещениях по территории ОРУ штангу с установленным на ней БР держать только в горизонтальном положении.

При мониторинге ЧХВР изоляторов, находящихся не в составе оборудования, рекомендуется использовать рукоятку из комплекта поставки.

## 5 Мониторинг ЧХВР изолятора

### 5.1 Подготовка к работе

Перед мониторингом ЧХВР изолятора следует выполнить необходимые требования безопасности, ознакомиться с РЭ, подготовить оборудование в соответствии с РЭ.

Мониторинг ЧХВР изолятора выполняют двумя членами бригады: оператором БР и ассистентом.

### 5.2 Мониторинг ЧХВР изоляторов, находящихся в составе оборудования

Рекомендуется до начала мониторинга ЧХВР изоляторов изготовить бланк протокола регистрации. При наличии данных о расположении обследуемых изоляторов бланк протокола регистрации может быть изготовлен автоматически в формате для вывода на печатающее устройство при использовании СПО, входящего в состав Индикаторного Комплекса.

Оператор БР выполняет идентификацию изолятора, сообщает сведения ассистенту, выполняет регистрацию ЧХВР изолятора. Оператор БР должен:

- *выполнять правила безопасного производства работ;*
- *знать порядок работы с БР;*
- *знать варианты установки щупов на фланце изолятора;*
- *владеть навыками управления БР, установленным на штанге.*

Ассистент наблюдает за действиями оператора БР и выполняет записи в протоколе регистрации. Ассистент должен:

- *находиться на расстоянии голосовой связи от оператора БР;*
- *следить за безопасностью действий оператора БР, предупреждать о нарушении правил безопасности;*
- *знать варианты установки щупов на фланце изолятора и предупреждать оператора БР об ошибках;*
- *в условиях, ограничивающих обзор для оператора БР, корректировать его действия голосом;*
- *знать порядок выполнения записей в протоколе регистрации.*

Дополнительные требования к ассистенту указаны в РЭ для каждой модели Индикаторного Комплекса.

В протоколе регистрации для каждого изолятора в соответствующей ему ячейке следует записывать порядковый номер регистрации, озвученный через динамик БР. При использовании БР Индикаторного Комплекса модели МИК-1 рекомендуется дополнительно указывать уровень принятого сигнала.

При использовании БР Индикаторного Комплекса модели МИК-1 рекомендуется для каждого изолятора выполнять трёхкратную регистрацию его ЧХВР в одной и той же точке установки щупов БР.

Наконечники щупов БР следует устанавливать на пластину крепления нижнего фланца обследуемого изолятора либо на пластине крепления нижнего фланца нижнего изолятора обследуемой колонки (рисунки 1 – 4).

При выполнении регистрации ЧХВР изолятора взаимное расположение щупов приёмника и излучателя произвольное. Положение ножей разъединителей значения не имеет.



**Рисунок 1**



**Рисунок 2**



Рисунок 3



Рисунок 4

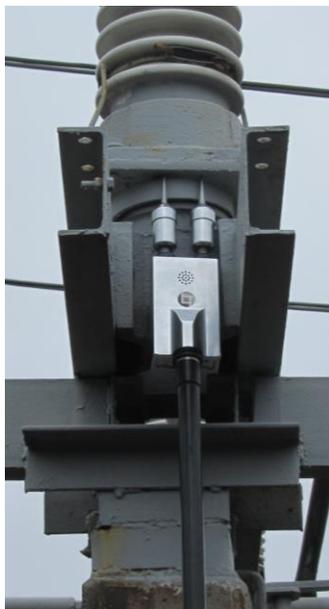
Щупы БР при наличии возможности устанавливаются перпендикулярно пластине. Допускается установка щупов под углом. В этом случае следует установить щупы таким образом, чтобы не допускать их соскальзывание. Прижатие БР выполнять по оси щупов, избегая их изгиба (рисунки 5 – 8).



**Рисунок 5**



**Рисунок 6**



**Рисунок 7**



**Рисунок 8**

**Внимание!**

Перекосы щупов (рисунок 9), касания конструкции разъединителя корпусами или боковыми поверхностями щупов (рисунок 10) недопустимы.

**Рисунок 9****Рисунок 10**

### 5.3 Мониторинг ЧХВР изоляторов, находящихся не в составе оборудования

При мониторинге ЧХВР изолятора, находящегося не в составе оборудования для предотвращения случайного нажатия кнопок на панели управления БР рекомендуется использовать рукоятку из комплекта.

Рекомендуется до начала мониторинга ЧХВР изолятора изготовить бланк протокола регистрации. При наличии данных об обследуемых изоляторах бланк протокола регистрации может быть изготовлен автоматически в формате для вывода на печатающее устройство при использовании СПО, входящего в состав Индикаторного Комплекса.

Оператор БР перемещает и устанавливает изолятор на опорной поверхности, выполняет идентификацию изолятора и регистрацию ЧХВР изолятора. Оператор БР должен:

- *знать порядок работы с БР;*
- *знать варианты установки изолятора на опорной поверхности;*
- *знать варианты установки щупов на фланцах изолятора.*

Ассистент помогает оператору БР перемещать и устанавливать изолятор на опорной поверхности, наблюдает за действиями оператора БР и выполняет записи в протоколе регистрации. Ассистент должен:

- *знать варианты установки изолятора на опорной поверхности;*
- *знать варианты установки щупов на фланцах изолятора и предупреждать оператора БР об ошибках;*
- *принимать меры для предотвращения падения изолятора;*
- *владеть навыками выполнения записей в протоколе регистрации.*

Дополнительные требования к ассистенту указаны в РЭ для каждой модели Индикаторного Комплекса.

В протоколе регистрации для каждого изолятора в соответствующих ячейках следует записывать порядковый номер регистрации, озвученный через динамик БР. При использовании БР Индикаторного Комплекса модели МИК-1 рекомендуется дополнительно указывать уровень принятого сигнала.

Изолятор следует установить вертикально на ровную, устойчивую деревянную подставку. Подставка должна обеспечивать достаточную виброизоляцию. Не допускается применять листы из деревянных пиломатериалов и резиновые коврики.

Регистрацию ЧХВР изолятора выполнять в четырёх секторах нижнего фланца при нормальном вертикальном положении изолятора, когда на подставку установлен нижний фланец. Щупы БР устанавливать на приливах крепёжных проушин нижнего фланца (рисунок 11). Указанный способ является наиболее предпочтительным.



**Рисунок 11**

При выполнении регистрации ЧХВР изолятора взаимное расположение щупов приёмника и излучателя произвольное.

Если в конструкции нижнего фланца отсутствуют приливы крепёжных проушин, щупы БР следует устанавливать перпендикулярно на боковой поверхности нижнего фланца (рисунок 12).



**Рисунок 12**

При установке щупов БР на боковой поверхности фланца следует избегать их соскальзывания и поперечного изгиба (рисунок 13).



**Рисунок 13** – Поперечный изгиб щупов БР

Если нижний фланец имеет малый радиус и не удаётся установить щупы БР на его боковой поверхности без их поперечного изгиба, то в этом случае следует выполнять регистрацию ЧХВР изолятора на верхнем фланце при нормальном вертикальном положении изолятора с установкой щупов БР на торцевой поверхности верхнего фланца (рисунок 14). При использовании торцевой поверхности верхнего фланца не допускается установка щупов БР в центр фланца. Усилие прижатия БР не должно превышать усилие сжатых пружин в конце хода штока. Также следует избегать давления весом тела.

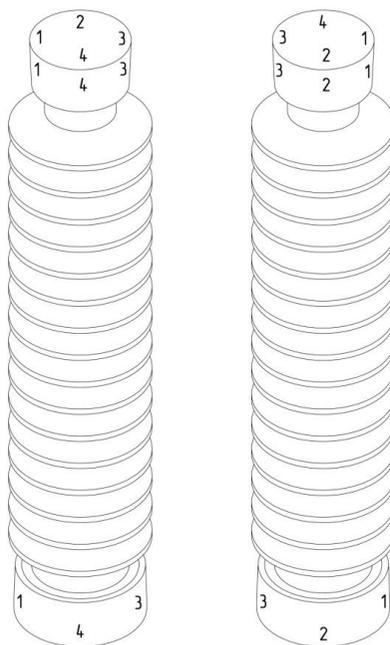


**Рисунок 14**

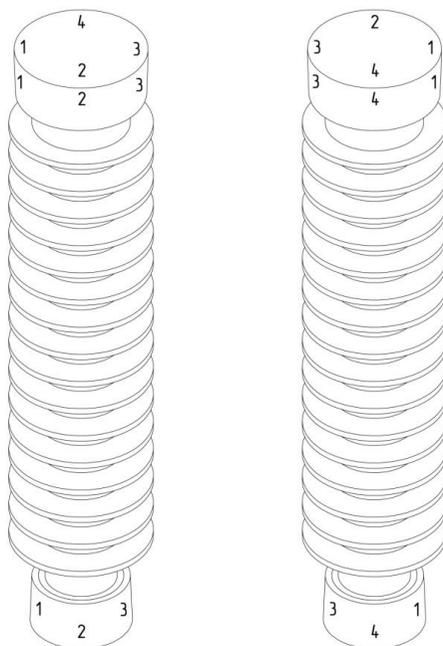
Критические дефекты в районе верхнего фланца могут быть не выявлены при нормальном положении изолятора. Для выявления таких дефектов следует дополнительно выполнить регистрацию ЧХВР изолятора в четырёх секторах верхнего фланца при перевёрнутом положении изолятора, когда на подставку установлен верхний фланец. Указанный способ следует применять только для изолятора, конструкция верхнего фланца которого позволяет после переворота установить изолятор устойчиво без дополнительной фиксации и избежать поперечного изгиба щупов при прижатии БР.

Для получения более подробной информации о локации возможного дефекта изолятора регистрацию ЧХВР изолятора выполнять в четырёх секторах каждого фланца изолятора при его нормальном и перевёрнутом положении, если конструкция верхнего фланца позволяет после переворота установить изолятор устойчиво без дополнительной фиксации и избежать поперечного изгиба шупов при прижатии БР.

При использовании перевёрнутого положения рекомендуется предварительно выполнить разметку на фланцах изолятора (рисунки 15, 16). Разметку нанести на торцевой или боковой поверхности каждого фланца. Важно, чтобы нумерация секторов совпадала на противоположных фланцах.



**Рисунок 15** – Нормальное положение изолятора



**Рисунок 16** – Перевернутое положение изолятора

#### Примечания

1 Для мониторинга ЧХВР изолятора достаточно выполнить регистрацию ЧХВР изолятора только в одном из секторов обследования на нижнем фланце при нормальном положении изолятора.

2 При использовании боковой поверхности фланца, находящегося сверху, возможно опрокидывание изолятора.

3 При регистрации ЧХВР изолятора не допускается касание изолятора (за исключением крепёжных проушин или нижней кромки фланца, находящегося снизу) любыми частями тела либо использование иных удерживающих устройств и приспособлений. Допускается использовать крепёжные проушины фланца, находящегося снизу, для прижатия изолятора к опорной поверхности или фиксации изолятора крепёжными изделиями.

### **5.4 Мониторинг ЧХВР изоляторов с применением автоматической идентификации по штрих-коду**

При применении Индикаторного Комплекса с функцией автоматической идентификации по штрих-коду регистрация ЧХВР изолятора может быть выполнена как в режиме сканирования штрих-кода, так и без использования функции автоматической идентификации по штрих-коду.

Мониторинг ЧХВР изолятора в режиме сканирования штрих-кода выполняют только для изоляторов, имеющих идентификационный код, записанный в виде штрих-кода.

Штрих-код должен быть предварительно размещён на стационарных этикетках на месте установки изолятора или сохранён в памяти устройства для чтения электронных книг с экраном типа E-Ink (ридер). В случае сохранения штрих-кода в памяти ридера ассистент выполняет действия оператора ридера. Для результатов регистрации, имеющих идентификационный код, запись в протокол регистрации не требуется.

Порядок действий, инструкции и рекомендации указаны в РЭ для соответствующей модели Индикаторного Комплекса.

Для проверки качества регистрации ЧХВР изолятора на месте обследования результаты регистрации могут быть обработаны и выведены на экран ПУ в виде спектрограмм при синхронизации БР с ПУ через USB-интерфейс (экспресс-просмотр). Оператор ПУ должен владеть методикой анализа ЧХВР изолятора. Оператор ПУ оценивает качество регистрации ЧХВР изолятора по форме спектрограммы, принимает решение о необходимости выполнения повторной регистрации ЧХВР изолятора.

При мониторинге ЧХВР изолятора в режиме сканирования штрих-кода результаты регистрации, имеющие идентификационный код, автоматически сохраняются в базе данных при копировании их в память ПК или ПУ через USB-интерфейс.

## **5.5 Мониторинг ЧХВР изоляторов с применением беспроводной передачи данных**

При применении Индикаторного Комплекса с функцией беспроводной передачи данных мониторинг ЧХВР изолятора может быть выполнен как в режиме беспроводной передачи данных, так и без использования функции беспроводной передачи данных.

Для мониторинга ЧХВР изолятора в режиме беспроводной передачи данных требуется использование ПУ.

В этом случае ассистент выполняет действия оператора ПУ. Оператор ПУ должен владеть методикой анализа ЧХВР изолятора.

Порядок действий, инструкции и рекомендации указаны в РЭ для соответствующей модели Индикаторного Комплекса.

При мониторинге ЧХВР изолятора в режиме беспроводной передачи данных результаты регистрации автоматически передаются на ПУ, сохраняются в памяти, обрабатываются и выводятся на экран в виде спектрограмм. Оператор ПУ оценивает качество регистрации ЧХВР изолятора по форме спектрограммы, принимает решение о необходимости выполнения повторной регистрации ЧХВР изолятора.

В случае применения программного приложения с функцией автоматического заполнения базы данных при передаче результатов

регистрации через беспроводное соединение запись в протокол регистрации не требуется.

## 5.6 Рекомендации

В связи с разнообразием конструкций разъединителей и особенностей монтажа изоляторов в некоторых случаях доступ к нижнему фланцу опорного изолятора может быть затруднён.

В этих случаях рекомендуется:

- для установки щупов БР использовать любую доступную боковую поверхность нижнего фланца, опорную пластину, плиту или швеллер (рисунки 5 – 8);
- избегать установки щупов БР на компенсирующие прокладки;
- щупы БР располагать ближе к крепёжным элементам, удерживающим фланец изолятора;
- устанавливать щупы БР под углом к опорной поверхности, при этом при прижатии БР не допускается изгиб щупов;
- фиксировать точки установки щупов БР схемой, фото- или видеосъёмкой;
- при следующих обследованиях использовать те же точки установки щупов БР;
- выполнять трёхкратную регистрацию в одной точке для каждого изолятора.

Большое влияние на корректность результатов регистрации оказывает качество выполнения регистрации ЧХВР изолятора.

Результаты регистрации содержат некорректные данные в случаях:

- некорректного выбора точек установки щупов БР;
- перекосов щупов БР при установке (рисунок 9);
- касания элементов конструкции иными поверхностями кроме заострённых наконечников щупов БР (рисунок 10);
- дрожания рук в процессе регистрации ЧХВР изолятора в результате некорректного выбора способа удержания штанги;
- низкого уровня принятого сигнала (ниже 12 квантов);
- превышенного уровня принятого сигнала (выше 250 квантов).

В некоторых случаях оператор БР не в состоянии самостоятельно оценить свои действия на предмет снижения качества регистрации ЧХВР изолятора. Ассистент должен выбирать своё расположение около разъединителя таким образом, чтобы беспрепятственно контролировать установку щупов на фланце изолятора.

## **6 Анализ ЧХВР изолятора и постановка диагноза**

Основным критерием допуска при оценке механической прочности изолятора является неизменность во времени его частотных характеристик.

В общем случае ЧХВР изолятора, полученные при первом обследовании, являются базовыми для сравнений с частотными характеристиками, полученными при последующих обследованиях, и для оценки состояния механической прочности изолятора по основному критерию допуска.

### **6.1 Изоляторы с «жестким» армировочным швом**

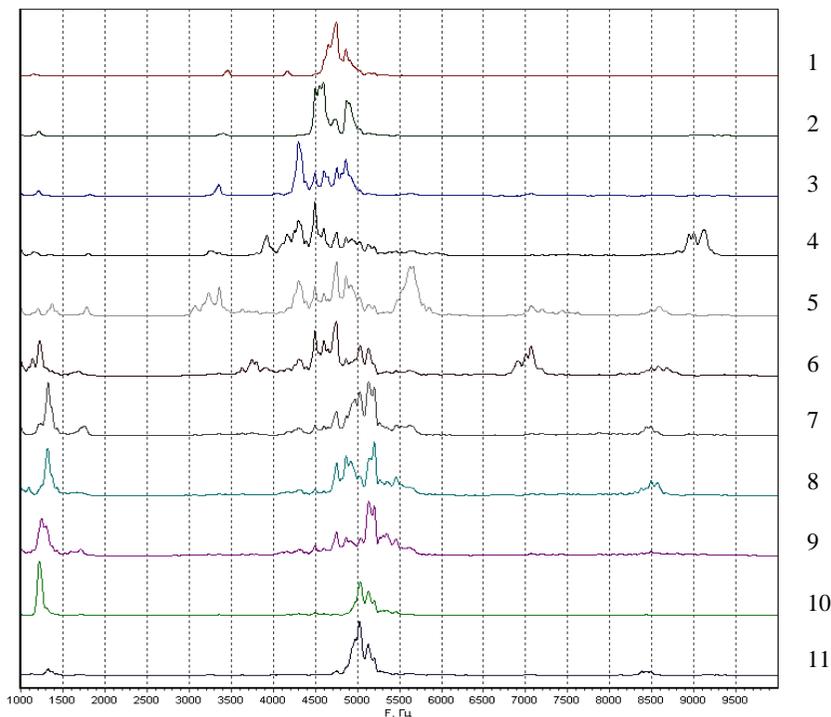
#### **6.1.1 ЧХВР изоляторов с «жестким» армировочным швом**

В 2011 году на пермском заводе «Элиз» были выполнены испытания изоляторов с «жестким» армировочным швом разрушающей нагрузкой с целью мониторинга их ЧХВР на каждом этапе разрушения.

Таким образом, были получены спектрограммы «жизненного цикла» изолятора от исходного исправного состояния до его полного разрушения в районе нижнего фланца.

Для эксперимента использовались новые изоляторы, прошедшие заводские испытания.

В результате после анализа спектрограмм были выделены фазы разрушения изолятора с характерными для них признаками (рисунок 17).



**Рисунок 17** – Спектрограммы вибрации изолятора после получения повреждений различных степеней.  
Масштаб – линейный

*Спектрограмма 1* – исходное состояние изолятора с исходным значением несущей способности; дефекты отсутствуют; характерные признаки: наличие основных пиков в диапазоне частоты стоячей волны.

*Спектрограммы 2, 3, 4, 5* – неаварийное состояние изолятора с незначительным снижением несущей способности; появление не критического дефекта; характерные признаки: наличие основных пиков в диапазоне частоты стоячей волны, появление дополнительных пиков.

*Спектрограмма 6* – неаварийное состояние изолятора со снижением несущей способности не ниже значения минимальной разрушающей нагрузки для данного типа изолятора; локализация не критического дефекта в районе нижнего фланца изолятора; характерные признаки: наличие основных пиков в диапазоне частоты стоячей волны, рост амплитуды дополнительных пиков в диапазоне частот ниже 3000 Гц.

*Спектрограммы 7, 8, 9* – нестабильное состояние изолятора со значительным снижением несущей способности; развитие дефекта в районе нижнего фланца до состояния, пограничного с критическим; характерные

*признаки: значительное снижение амплитуды основных пиков в диапазоне частот стоячей волны, рост амплитуды дополнительных пиков в диапазоне частот ниже 3000 Гц, появление дополнительных пиков в диапазоне частот 5000 - 5300 Гц.*

*Спектрограмма 10 – предаварийное состояние изолятора со значительным снижением несущей способности; появление критического дефекта в районе нижнего фланца; характерные признаки: отсутствие основных пиков в диапазоне частот стоячей волны, значительный рост амплитуды дополнительных пиков в диапазоне частот ниже 1500 Гц, наличие дополнительных пиков в диапазоне частот 5000 - 5300 Гц.*

*Спектрограмма 11 – аварийное состояние изолятора с потерей несущей способности более чем в 20 раз по отношению к исходному состоянию (см. приложение А, соотношение А.4); критический дефект в районе нижнего фланца; характерные признаки: отсутствие основных пиков в диапазоне частот стоячей волны, значительный рост амплитуды дополнительных пиков в диапазоне частот 5000 - 5300 Гц, наличие пиков в недиагностируемом диапазоне частот ниже 1000 Гц.*

Развитие последних фаз повреждения в изоляторе в процессе эксплуатации может происходить достаточно интенсивно, поэтому отследить полный цикл разрушения изолятора не всегда представляется возможным. Опыт обследований опорно-стержневой изоляции показал, что изоляторы, имеющие нестабильное или предаварийное состояние, способны как сохранять прочность более двух лет, так и разрушиться в течение двух недель. При этом процесс разрушения носит непрогнозируемый лавинообразный характер.

Критическим дефектом по ГОСТ Р 53697-2009 «Контроль неразрушающий. Основные термины и определения» называется один или несколько дефектов, совокупный размер, форма, ориентация, расположение или свойства которых не удовлетворяют установленным критериям допуска и являются недопустимыми.

Критические дефекты изоляторов, приводящие к потери несущей способности в районе нижнего фланца более чем в 20 раз и в районе верхнего фланца более чем в 5 раз относительно реальной разрушающей нагрузки для их исходного состояния, Индикаторным Комплексом не определяются, так как признаки дефекта находятся за пределами частотного диапазона оценки.

Повторные обследования, выполненные с интервалом 6 – 8 месяцев (после окончательного перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С), позволяют уточнить состояние механической прочности изолятора по основному критерию допуска путём сравнения ЧХВР.

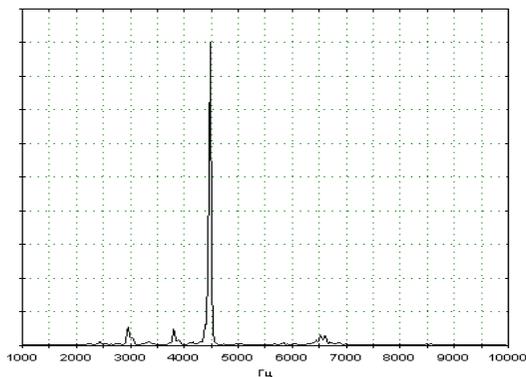
Анализ результатов разрушающих испытаний, исследования фаз разрушения и математических моделей изоляторов позволяют определить дополнительные критерии допуска для оценки состояния механической

прочности изолятора в случае невозможности применения основного критерия допуска.

При анализе ЧХВР изолятора без применения основного критерия допуска текущее состояние механической прочности одиночного изолятора относят к одной из следующих групп:

- 1) изолятор на текущий момент не имеет признаки дефекта;
- 2) изолятор на текущий момент имеет признаки технологического дефекта с сохранением несущей способности;
- 3) изолятор на текущий момент имеет признаки некритических дефектов с сохранением несущей способности;
- 4) изолятор имеет признаки критического дефекта со значительным снижением несущей способности ниже минимальной разрушающей нагрузки для данного типа изоляторов.

Дополнительным критерием допуска для случая отсутствия признаков дефекта является наличие на спектрограмме одного основного пика в диапазоне частот 4200 – 4800 Гц (рисунок 18).

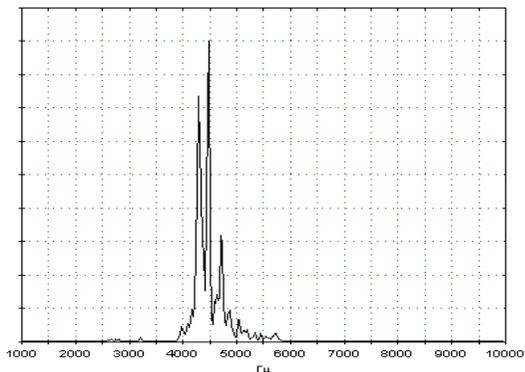


**Рисунок 18**

Технологические дефекты могут быть вызваны особенностями технологии изготовления изоляторов или дефектами монтажа изоляторов на разъединителе.

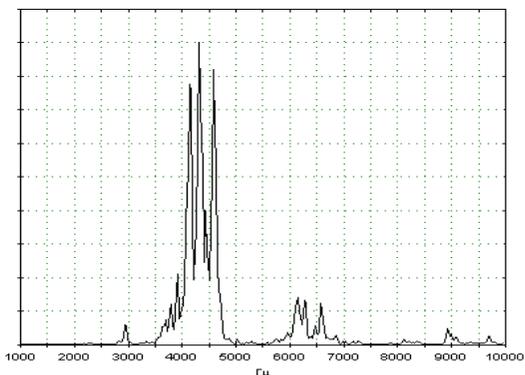
Дополнительными критериями допуска для случая наличия признаков допускаемых технологических дефектов изготовления изоляторов являются:

- наличие на спектрограмме нескольких основных пиков с различной амплитудой в диапазоне частот 4200 – 4800 Гц (рисунок 19);



**Рисунок 19**

- наличие на спектрограмме основных пиков в диапазоне частот 4200 – 4800 Гц с максимальной амплитудой относительно остальных пиков и наличие дополнительных пиков в диапазонах частот 3000 – 8000 Гц, по амплитуде не превышающих 30 % амплитуды максимального основного пика (рисунок 20).



**Рисунок 20**

Дополнительными критериями допуска для случая наличия признаков монтажных дефектов являются:

- наличие дополнительных пиков в диапазонах частот 3000 – 4000 Гц и наличие на спектрограмме основных пиков в диапазоне частот 4200 – 4800 Гц с амплитудой не ниже 30 % амплитуды максимального дополнительного пика (рисунок 21);

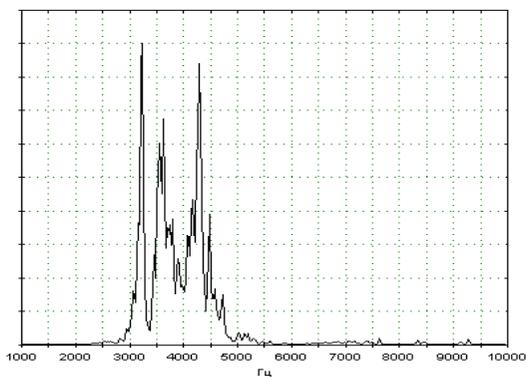


Рисунок 21

- наличие на спектрограмме основных пиков в диапазоне частот 4200 – 4800 Гц с максимальной амплитудой относительно остальных пиков и наличие дополнительных пиков в диапазонах частот 5000 – 8000 Гц, по амплитуде не превышающих 50 % амплитуды максимального основного пика (рисунок 22).

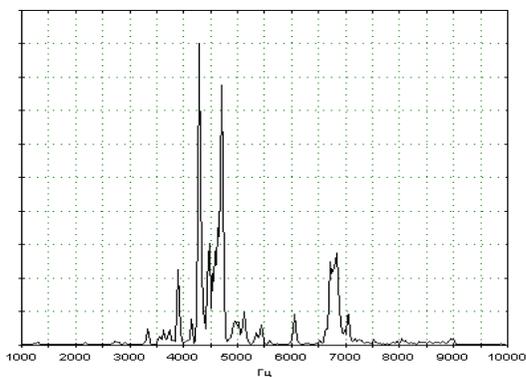
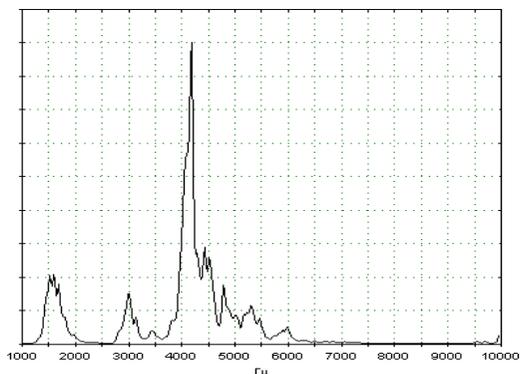


Рисунок 22

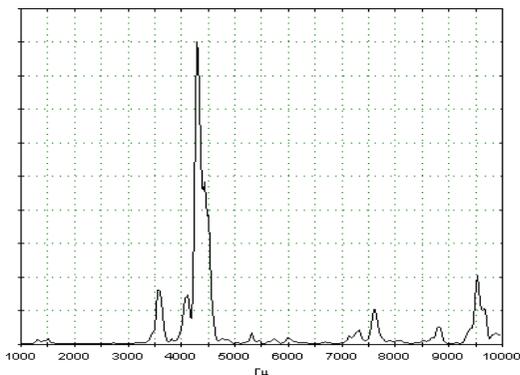
Дополнительными критериями допуска для случая наличия признаков не критического дефекта являются:

- наличие на спектрограмме основных пиков в диапазоне частот 4200 – 4800 Гц с максимальной амплитудой относительно остальных пиков и наличие дополнительных пиков в диапазонах частот 1000 – 3000 Гц, по амплитуде не превышающих 40 % амплитуды максимального основного пика (рисунок 23);



**Рисунок 23**

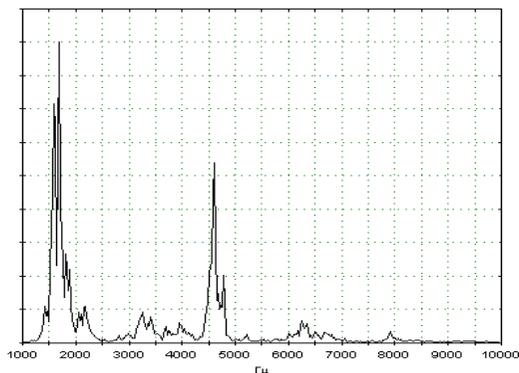
- наличие на спектрограмме основных пиков в диапазоне частот 4200 – 4800 Гц с максимальной амплитудой относительно остальных пиков и наличие дополнительных пиков в диапазонах частот 8000 – 10000 Гц, по амплитуде не превышающих 40 % амплитуды максимального основного пика (рисунок 24).



**Рисунок 24**

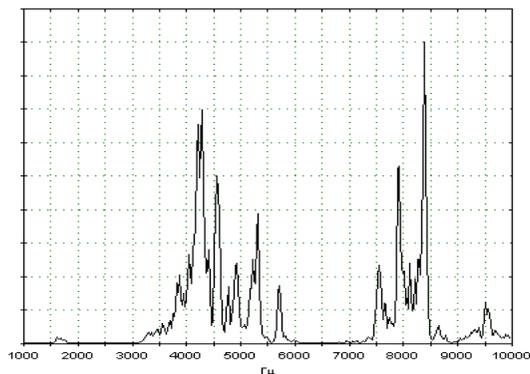
Дополнительными критериями допуска для случая наличия признаков критического дефекта являются:

- наличие на спектрограмме дополнительных пиков в диапазоне частот 1000 – 3000 Гц с максимальной амплитудой относительно остальных пиков (рисунок 25);



**Рисунок 25**

- наличие на спектрограмме дополнительных пиков в диапазоне частот 8000 – 10000 Гц с максимальной амплитудой относительно остальных пиков (рисунок 26);



**Рисунок 26**

• наличие на спектрограмме дополнительных пиков в диапазоне частот 5000 – 5500 Гц с максимальной амплитудой относительно остальных пиков (рисунки 27, 28);

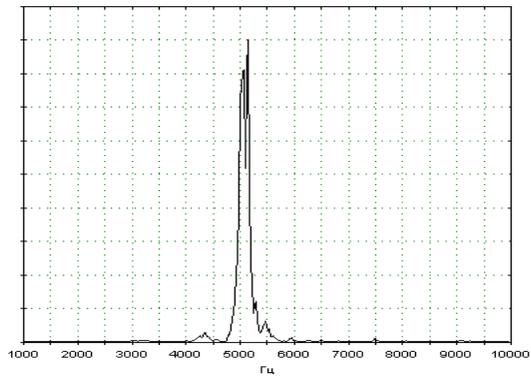


Рисунок 27

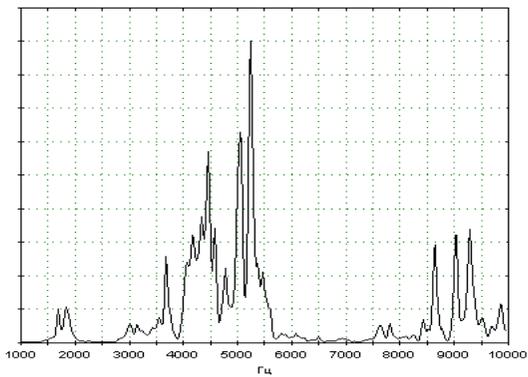
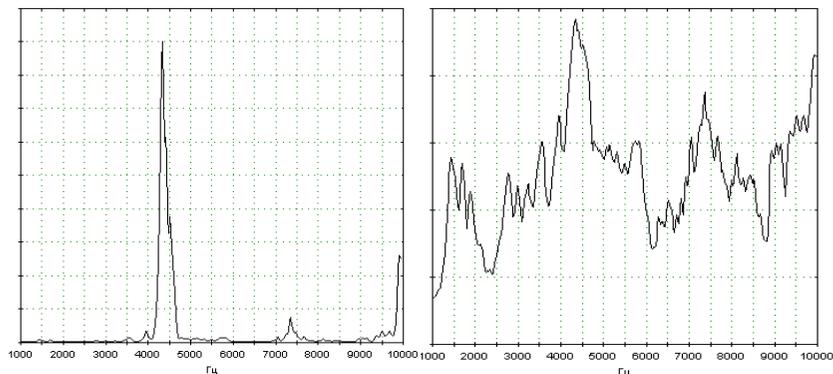
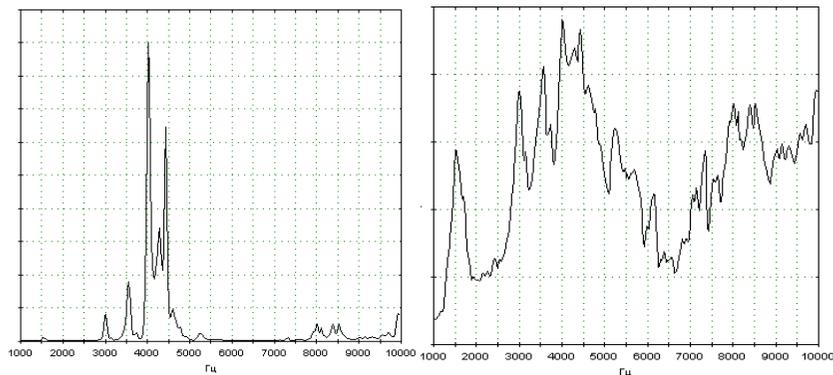


Рисунок 28

• наличие на спектрограмме основных пиков в диапазоне частот 4200 – 4800 Гц с максимальной амплитудой относительно остальных пиков и наличие дополнительной кривой без пика с убывающей амплитудой от нижней границы диапазона 1000 Гц, когда вершина пика располагается за границей диапазона (ниже 1000 Гц), наличие дополнительной кривой без пика с возрастающей амплитудой к верхней границе диапазона 10000 Гц, когда вершина пика располагается за границей диапазона (выше 10000 Гц) – в некоторых случаях указанные признаки обнаруживаются только в логарифмическом масштабе просмотра (рисунки 29, 30).



**Рисунок 29** – Масштаб линейный и логарифмический



**Рисунок 30** – Масштаб линейный и логарифмический

### 6.1.2 Влияние температуры окружающей среды на ЧХВР изолятора

При изменениях среднесуточной температуры воздуха с положительных до отрицательных значений и обратно у изоляторов, не имеющих дефектов, частотный состав вибрации не изменяется.

У изоляторов, имеющих технологические или некритические дефекты, при колебаниях температуры воздуха может незначительно изменяться механическая прочность, соответственно незначительно изменяются их ЧХВР.

У изоляторов, имеющих увлажнённый или «рыхлый» армировочный шов, при температурных изменениях меняется механическая жёсткость. Если в армировочном шве изолятора имеется некоторое количество влаги, ещё недостаточное для его повреждения, то её замерзание приводит к увеличению жёсткости изолятора. Неоднородности (рыхлости) армировочных швов, так же имеют свойство уплотняться при понижении температуры из-за различия коэффициентов линейного расширения материалов, что так же повышает жёсткость изолятора.

В сезоны, когда в течение суток происходят многократные температурные колебания с переходом нулевого значения, изолятор с увлажнённым армировочным швом может получить повреждение в районе нижнего или верхнего фланца, приводящее к существенному снижению его несущей способности.

В любом случае такой изолятор требует повышенного внимания со стороны технического персонала энергопредприятия.

Характерным признаком увлажнения армировочного шва является появление на спектрограмме признаков дефектов различной степени при обследованиях, выполненных при положительной температуре, и исчезновение либо значительное снижение амплитуды дополнительных пиков при обследованиях, выполненных при отрицательной температуре.

### 6.1.3 Общий порядок постановки диагноза

По результатам анализа ЧХВР изоляторы распределяют по следующим категориям (видам состояния):

- *изолятор в удовлетворительном состоянии (годен к эксплуатации без ограничений);*
- *изолятор подлежит периодическому контролю (годен к эксплуатации с ограничениями);*
- *изолятор в неудовлетворительном состоянии (не годен к эксплуатации).*

Удовлетворительное состояние изолятора устанавливают **только по основному критерию допуска**. ЧХВР исправного изолятора не имеют изменений во времени, при этом выполнено не менее трёх обследований при разных температурах (не менее двух температурных «переходов» через 0 °С).

После первого обследования состояние механической прочности изолятора определяют по дополнительным критериям допуска следующим образом:

- *признаки дефектов изолятора на текущий момент не выявлены (годен к эксплуатации без ограничений);*
- *изолятор на текущий момент имеет признаки технологических или некритических дефектов (годен к эксплуатации с ограничениями);*
- *изолятор имеет признаки критического дефекта (не годен к эксплуатации).*

Изолятор, имеющий признаки критического дефекта, определяемые дополнительными критериями допуска, находится в неудовлетворительном состоянии и подлежит немедленной замене. Дальнейшие обследования неисправного изолятора смысла не имеют.

Изолятор, ЧХВР которого после первого обследования не имеют признаков дефектов, определяемых дополнительными критериями допуска, может эксплуатироваться без ограничений при условии периодического выполнения обследований при разных температурах для уточнения состояния его механической прочности по основному критерию допуска.

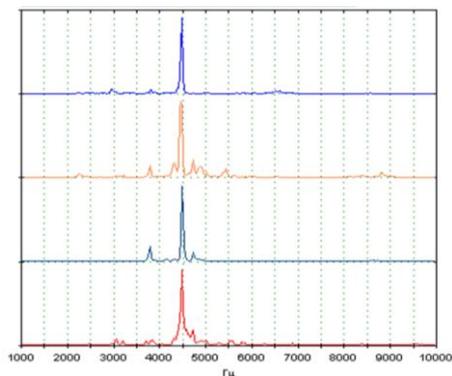
Изолятор, ЧХВР которого после первого обследования имеют признаки технологических или некритических дефектов, определяемые дополнительными критериями допуска, может эксплуатироваться с определёнными ограничениями при условии периодического выполнения обследований при разных температурах для уточнения состояния его механической прочности по основному критерию допуска.

После нескольких обследований, выполненных при различных температурах, состояние механической прочности изолятора уточняют по основному критерию допуска следующим образом:

- *изолятор не имеет признаков дефекта (годен к эксплуатации без ограничений);*
- *изолятор имеет признаки технологического или некритического неразвивающегося дефекта (годен к эксплуатации с ограничениями);*
- *изолятор имеет признаки технологического или некритического развивающегося дефекта (годен к эксплуатации с ограничениями);*
- *изолятор имеет признаки увлажнённого армировочного шва (не годен к эксплуатации);*
- *изолятор имеет признаки критического дефекта (не годен к эксплуатации).*

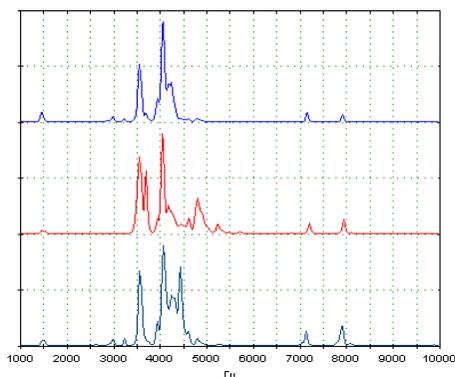
Изолятор, имеющий признаки критического дефекта, находится в неудовлетворительном состоянии и подлежит немедленной замене. Дальнейшие обследования неисправного изолятора смысла не имеют.

Изолятор, ЧХВР которого после нескольких обследований, выполненных при различных температурах, не имеют признаков дефекта и не изменяются во времени, находится в удовлетворительном состоянии.



**Рисунок 31**

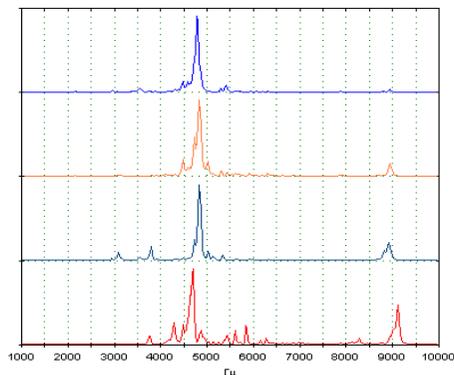
Изолятор, ЧХВР которого после нескольких обследований, выполненных при различных температурах, имеют признаки технологического или некритического дефекта, но не изменяются во времени, находится в удовлетворительном состоянии.



**Рисунок 32**

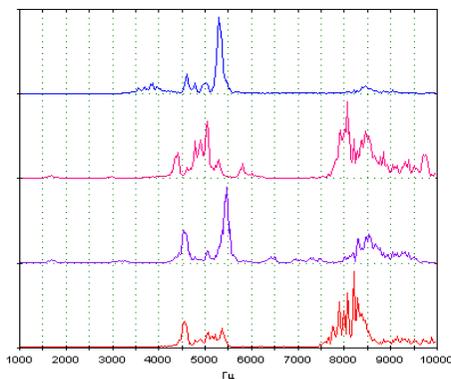
Изолятор в удовлетворительном состоянии может эксплуатироваться без ограничений на любых ответственных позициях. Дальнейших обследований не требует в течение срока, рекомендуемого методикой (см. раздел 7). По истечении установленного срока требуется выполнить новый цикл обследований.

Изолятор, ЧХВР которого после нескольких обследований, выполненных при различных температурах, имеют признаки развивающегося не критического дефекта и изменяются во времени, но при этом параметры дефекта не достигли критических значений, может временно эксплуатироваться с определёнными ограничениями при условии периодического выполнения обследований до определения момента наступления состояния, требующего замены изолятора.

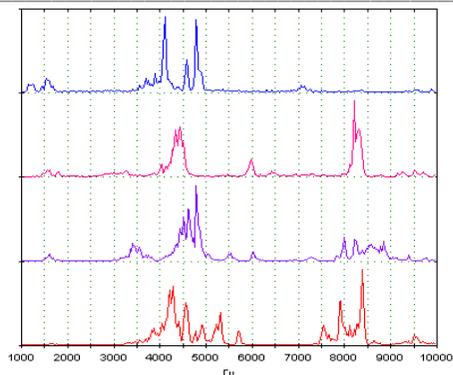
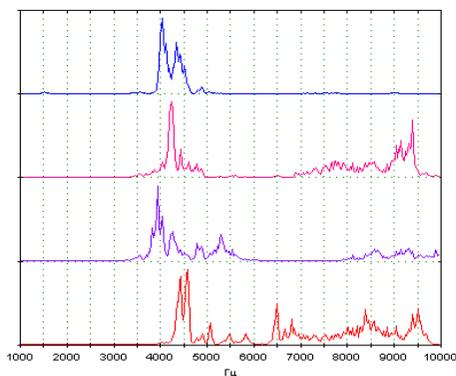


**Рисунок 33**

Изолятор, ЧХВР которого после нескольких обследований, выполненных при различных температурах, имеют признаки, характерные для увлажнённых армировочных швов, находится в неудовлетворительном состоянии и подлежит внеочередной замене.



**Рисунок 34**


**Рисунок 35**

**Рисунок 36**

При невозможности немедленной замены изолятор с увлажнённым армировочным швом рекомендуется временно эксплуатировать в щадящем режиме либо с использованием страхующих устройств. Дальнейшие обследования и герметизация армировочных швов смысла не имеют.

## 6.2 Изоляторы с «эластичным» армировочным швом

В настоящее время в эксплуатации появляются изоляторы с «эластичным» армировочным швом как отечественного, так и зарубежного производства. Это существенно повысило надёжность и долговечность распределительных устройств. В некоторых странах, в частности в Скандинавии, изоляторы такого типа отработали без повреждений более 30 лет (встречаются экземпляры в удовлетворительном состоянии, отработавшие более 50 лет).

## **6.2.1 ЧХВР изоляторов с «эластичным» армировочным швом**

Особенность спектрограмм изоляторов с «эластичным» армировочным швом заключается в присутствии в них частотных составляющих от колебания многомассовой системы.

### **Для изоляторов с «эластичным» армировочным швом справедлив основной критерий допуска (неизменность ЧХВР).**

При анализе ЧХВР без применения основного критерия допуска текущее состояние механической прочности одиночного изолятора с «эластичным» армировочным швом разделяют на два вида:

- 1) изолятор на текущий момент не имеет признаков дефекта (годен к эксплуатации);
- 2) изолятор имеет признаки критического дефекта со значительным снижением несущей способности ниже минимальной разрушающей нагрузки для данного типа изоляторов (не годен к эксплуатации).

Исследования математических моделей изоляторов позволяют определить дополнительные критерии допуска для оценки состояния механической прочности изолятора с «эластичным» армировочным швом.

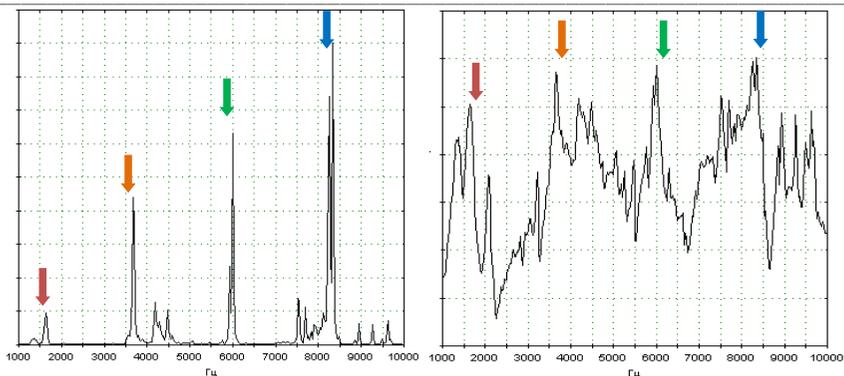
При анализе ЧХВР изолятора с «эластичным» армировочным швом, зарегистрированных при положительных значениях температуры воздуха, дополнительными критериями допуска для случая отсутствия признаков дефекта являются:

- *наличие на спектрограмме четырёх основных пиков в диапазонах частот  $1700 \pm 300$  Гц (1-й основной пик),  $4000 \pm 800$  Гц (2-й основной пик),  $6000 \pm 1500$  Гц (3-й основной пик),  $8500 \pm 1000$  Гц (4-й основной пик);*
- *наличие между основными пиками зон со значительным снижением амплитуды пиков шириной не менее 1000 Гц.*

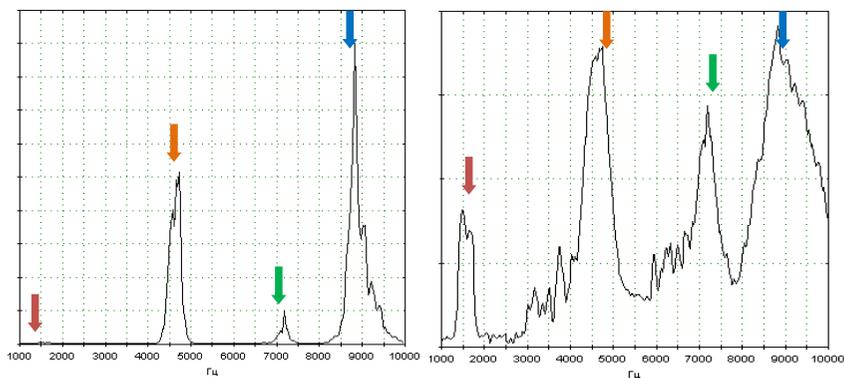
Пики в указанных характерных диапазонах могут быть выражены как одним пиком, так и группой пиков с различной амплитудой.

Амплитуда одного из пиков или группы пиков может быть значительно ниже амплитуды остальных основных пиков, но при этом наличие пика в характерном диапазоне всегда определяется при логарифмическом режиме просмотра.

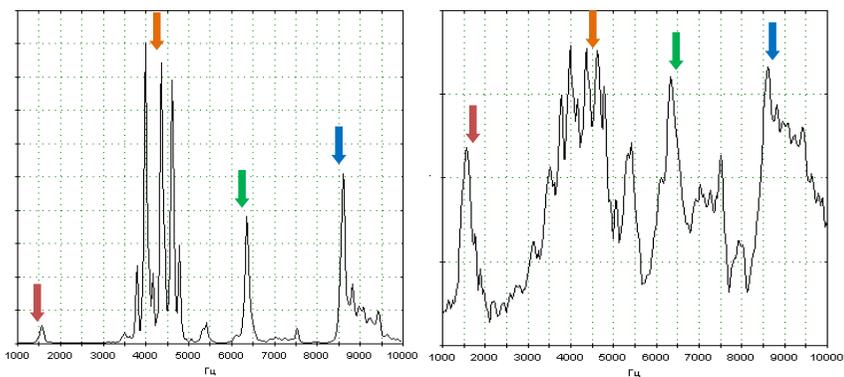
На рисунках 37 – 42 показаны характерные спектрограммы для изоляторов с «эластичным» армировочным швом разных моделей основных изготовителей без признаков дефекта.



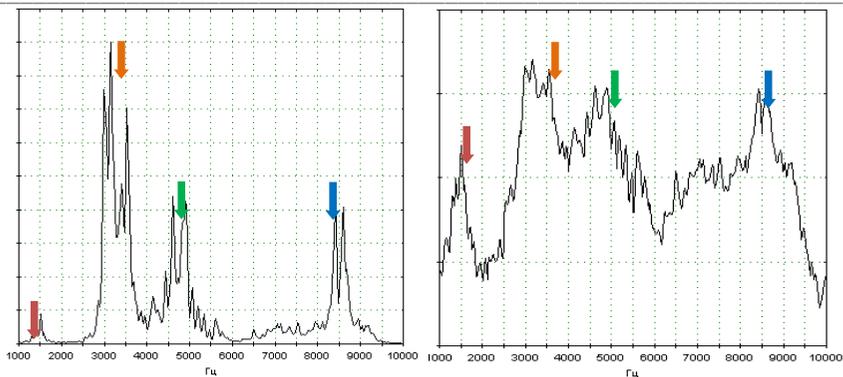
**Рисунок 37** – Изготовитель РРС. Масштаб линейный и логарифмический



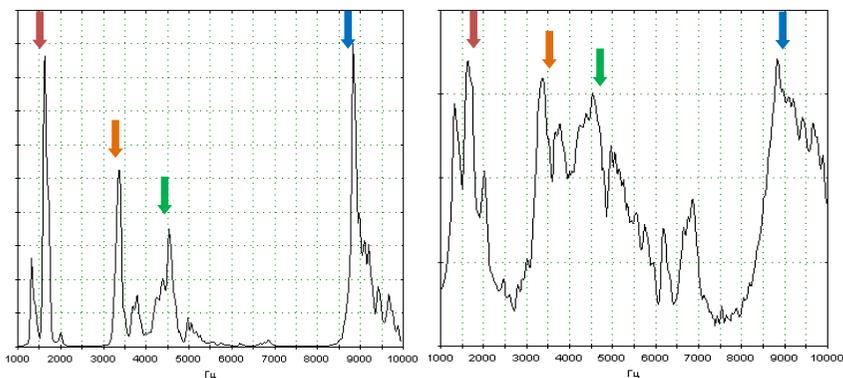
**Рисунок 38** – Изготовитель РРС. Масштаб линейный и логарифмический



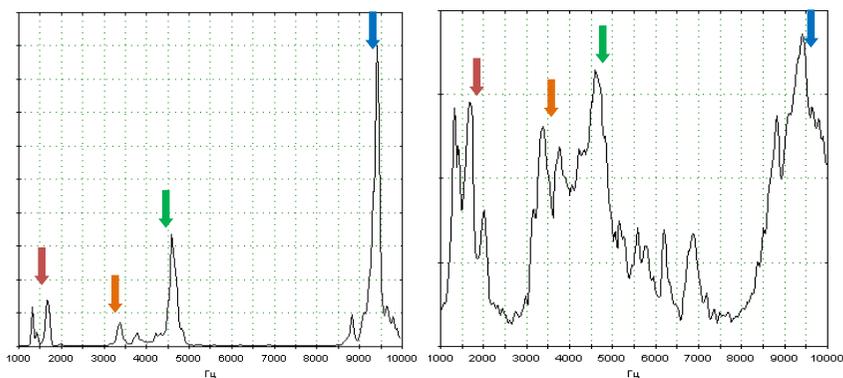
**Рисунок 39** – Изготовитель АВВ. Масштаб линейный и логарифмический



**Рисунок 40** – Изготовитель АВВ. Масштаб линейный и логарифмический



**Рисунок 41** – Китайский изготовитель. Масштаб линейный и логарифмический



**Рисунок 42** – Китайский изготовитель. Масштаб линейный и логарифмический

Дополнительными критериями допуска для случая наличия признаков критического дефекта (рисунок 43) являются:

- смещение 1-го основного пика ниже 1300 Гц с большей амплитудой относительно амплитуд 2-го и 3-го основных пиков;
- смещение 2-го и 3-го основных пиков в диапазон частот 4000 – 5000 Гц с образованием общей группы пиков;
- смещение 4-го основного пика выше 9500 Гц с большей амплитудой относительно амплитуд 2-го и 3-го основных пиков;
- появление множественных дополнительных пиков в диапазоне частот 6500 – 9500 Гц.

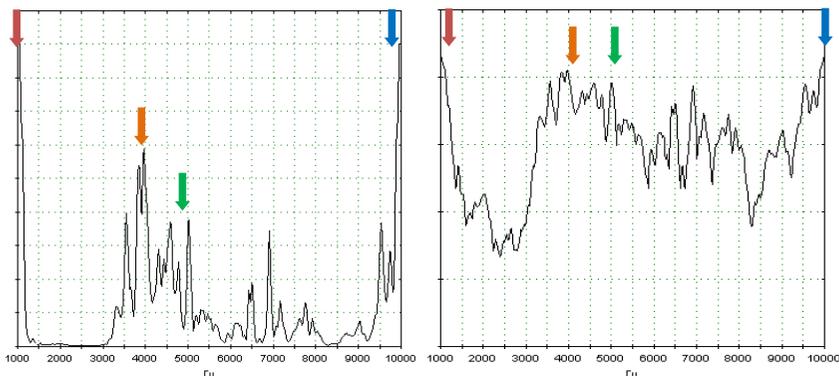


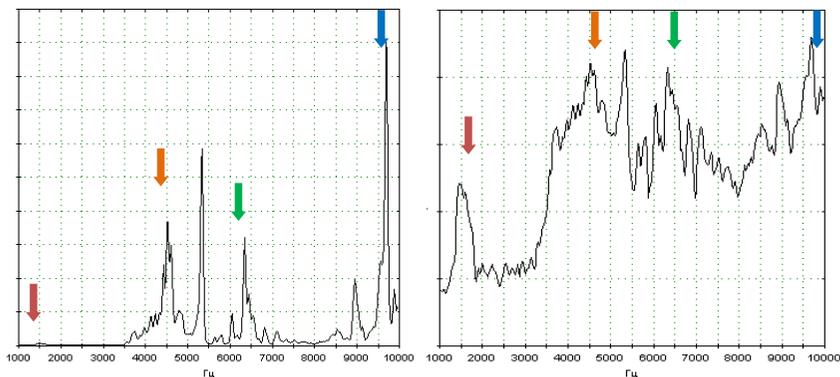
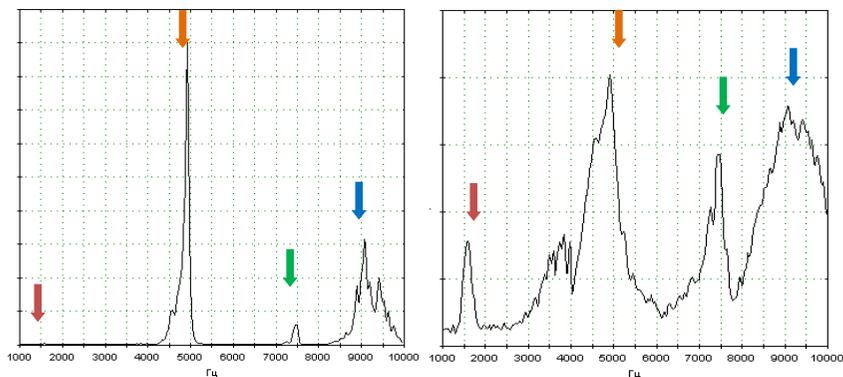
Рисунок 43 – Масштаб линейный и логарифмический

## 6.2.2 Влияние температуры окружающей среды на ЧХВР изолятора

При изменениях среднесуточной температуры воздуха с положительных до отрицательных значений и обратно у изоляторов с «эластичным» армировочным швом происходит неравномерное изменение размеров его составных элементов и изменение эластичности термокомпенсирующего слоя, что приводит к изменению жесткостных характеристик соединений составных элементов, следовательно, приводит к изменению ЧХВР изолятора.

При анализе ЧХВР изолятора с «эластичным» армировочным швом, зарегистрированных при отрицательных значениях температуры воздуха дополнительными критериями допуска для случая отсутствия признаков дефектов (рисунки 44, 45) являются:

- наличие на спектрограмме четырёх основных пиков в диапазонах частот  $2000 \pm 500$  Гц (1-й основной пик),  $4500 \pm 500$  Гц (2-й основной пик),  $7000 \pm 1000$  Гц (3-й основной пик),  $9000 \pm 500$  Гц (4-й основной пик);
- появление дополнительных пиков в диапазоне частот 5000 – 6000 Гц.


**Рисунок 44** – Масштаб линейный и логарифмический

**Рисунок 45** – Масштаб линейный и логарифмический

Повторные обследования позволяют уточнить состояние механической прочности изолятора с «эластичным» армировочным швом по основному критерию допуска путём сравнения с предыдущими результатами. При этом сравнению подлежат ЧХВР, полученные при одинаковых температурных условиях.

### 6.2.3 Общий порядок постановки диагноза

По результатам анализа ЧХВР изоляторы с «эластичным» армировочным швом распределяют по следующим категориям:

- *изолятор в удовлетворительном состоянии (годен к эксплуатации без ограничений);*
- *изолятор подлежит периодическому контролю (годен к эксплуатации с ограничениями);*

• *изолятор в неудовлетворительном состоянии (не годен к эксплуатации).*

Удовлетворительное состояние изолятора с «эластичным» армировочным швом устанавливают **только по основному критерию допуска**. ЧХВР исправного изолятора с «эластичным» армировочным швом не имеют признаков дефекта и не изменяются во времени при одинаковых температурных условиях, при этом выполнено не менее двух обследований для каждого температурного значения (установившаяся положительная и установившаяся отрицательная температура воздуха).

После первого обследования состояние механической прочности изолятора с «эластичным» армировочным швом определяют по дополнительным критериям допуска следующим образом:

- *признаки дефекта изолятора на текущий момент не выявлены (годен к эксплуатации);*
- *изолятор имеет признаки критического дефекта (не годен к эксплуатации).*

Изолятор с «эластичным» армировочным швом, имеющий признаки критического дефекта, определяемые дополнительными критериями допуска, находится в неудовлетворительном состоянии и подлежит немедленной замене. Дальнейшие обследования неисправного изолятора смысла не имеют.

Изолятор с «эластичным» армировочным швом, ЧХВР которого после первого обследования не имеют признаков дефекта, определяемых дополнительными критериями допуска, может эксплуатироваться без ограничений при условии периодического выполнения обследований при разных температурах для уточнения состояния его механической прочности по основному критерию допуска.

После нескольких обследований, выполненных при различных температурах, состояние механической прочности изолятора уточняют по основному критерию допуска следующим образом:

- *изолятор не имеет признаков дефекта (годен к эксплуатации без ограничений);*
- *изолятор имеет признаки развивающегося некритического дефекта (годен к эксплуатации с ограничениями);*
- *изолятор имеет признаки критического дефекта (не годен к эксплуатации).*

Изолятор, имеющий признаки критического дефекта, находится в неудовлетворительном состоянии и подлежит немедленной замене. Дальнейшие обследования неисправного изолятора смысла не имеют.

Изолятор, ЧХВР которого после нескольких обследований, выполненных при различных температурах, не имеют признаков дефекта и не изменяются во времени при сходных температурных условиях, находится в удовлетворительном состоянии и может эксплуатироваться без ограничений на любых ответственных позициях. Дальнейших обследований не требует в течение срока, рекомендуемого методикой (см. раздел 7). По истечении установленного срока требуется выполнить новый цикл обследований.

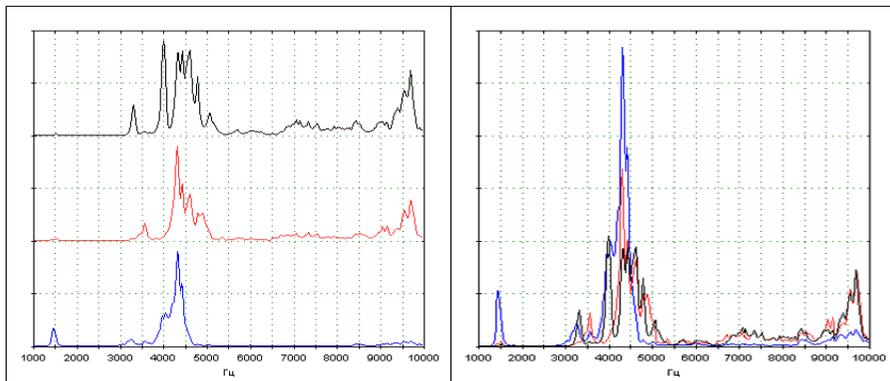
Изолятор, ЧХВР которого после нескольких обследований, выполненных при различных температурах, изменяются во времени при сходных температурных условиях, но при этом на спектрограммах не наблюдается признаков, характерных для критического дефекта, может временно эксплуатироваться с определёнными ограничениями при условии периодического выполнения обследований до появления признаков состояния, требующего замены изолятора.

### **6.3 Рекомендации**

ЧХВР изолятора зависят от скорости распространения в материалах изолятора упругих волн акустического диапазона частот. В связи с наличием технологических допусков при производстве изоляторов существуют различия в химическом и структурном составе материала, как между разными партиями, так и в пределах одной партии, что приводит к «уникальности» ЧХВР каждого изолятора.

Для формы спектрограммы качественного и исправного изолятора возможно отклонение от «идеальной» формы (наличие одного основного пика с максимальной амплитудой на частоте 4500 Гц).

Для спектрограммы колонки изоляторов характерно наложение «уникальных» частот каждого изолятора в колонке, что приводит к наличию нескольких основных пиков в диапазоне частоты стоячей волны (рисунок 46). При этом невозможно точно идентифицировать соответствие какой-либо частоты на спектрограмме сборной колонки изоляторов частотным характеристикам конкретного изолятора в этой колонке.



**Рисунок 46** – Чёрный: спектрограммы колонки из двух изоляторов в сборе;  
 красный: спектрограммы верхнего изолятора (ИОС-110-400) после демонтажа;  
 синий: спектрограммы нижнего изолятора (ИОС-110-1250) после демонтажа

После мониторинга ЧХВР колонок изоляторов без отключения рабочего напряжения в процессе анализа ЧХВР выявляют колонки, в составе которых присутствуют неисправные изоляторы. Колонки с неисправными изоляторами следует вывести из эксплуатации и демонтировать без предварительного уточнения локации дефекта, поскольку любое повреждение в любом фланце любого из изоляторов в колонке приведет к разрушению всей колонки.

После разборки колонки следует обследовать каждый изолятор в отдельности (см. п. 5.3), при этом выявляют изоляторы, которые могут эксплуатироваться дальше и которые подлежат замене.

После замены неисправных изоляторов и ввода отремонтированной колонки в эксплуатацию следует в кратчайшее время выполнить новый мониторинг ЧХВР отремонтированной колонки изоляторов, установленной на разъединителе или шлейфовой опоре.

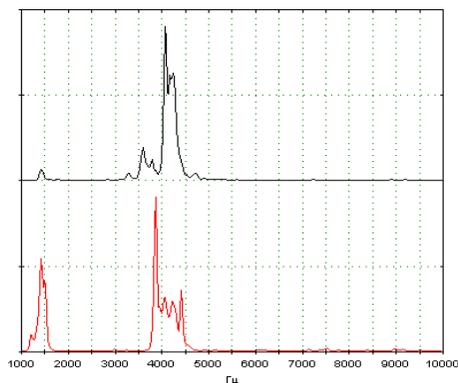
В дальнейшем данные, полученные до ремонта, не рассматривать или удалить, а новые данные, полученные после ремонта, считать базовыми для последующих сравнений.

В эксплуатации применяются усиленные разъединители, у которых кроме поворотных колонок установлены по две параллельные опорные колонки (рисунок 47) или три параллельных колонки установлены на одной поворотной плите. Также парные усиленные колонки устанавливаются на шлейфовых опорах.

Подобные колонки обычно стоят на одном основании и имеют стяжки на фланцах. Тем не менее, имеется отдельный доступ под нижний фланец каждой колонки.

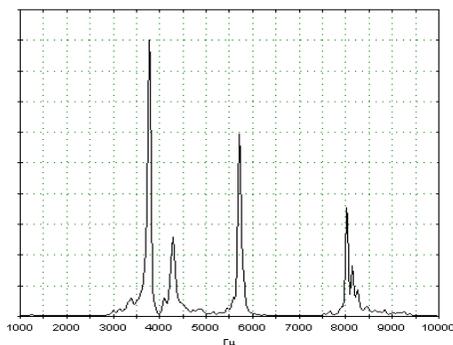

**Рисунок 47**

При нагружении вибрацией одной из колонок, в её частотном спектре будут присутствовать следы вибрации соседней колонки. Таким образом, признаки любого дефекта будут отображаться на спектрограммах обеих колонок. Наиболее выраженные признаки дефекта будут на спектрограмме дефектной колонки (рисунок 48).



**Рисунок 48** – Чёрный: спектрограмма колонки без дефекта;  
красный: спектрограмма колонки с дефектом

В случаях ослабления крепёжных элементов конструкций на спектрограммах возможно появление интенсивных пиков в диапазонах частот 3000 – 4000 Гц и 6000 – 8000 Гц при наличии основного пика с соразмерной амплитудой на частоте стоячей волны (рисунок 49).



**Рисунок 49**

Для случаев регистрации ЧХВР изолятора на элементах опорных конструкций при затруднённом доступе непосредственно к фланцу изолятора на спектрограммах характерно расположение основного пика ниже 4500 Гц и появление дополнительных пиков в диапазонах частот 3000 – 4000 Гц и 6000 – 8000 Гц.

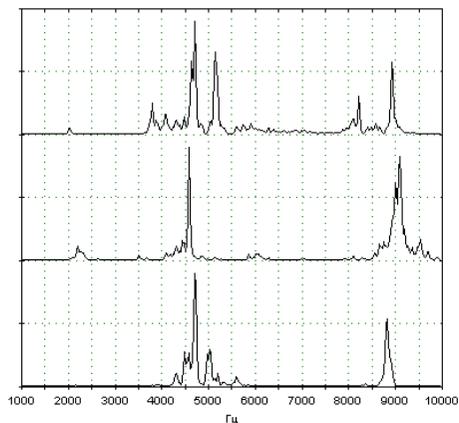
В эксплуатации встречаются случаи установки металлических страховочных элементов на нижнем фланце изолятора (рисунок 50).



**Рисунок 50**

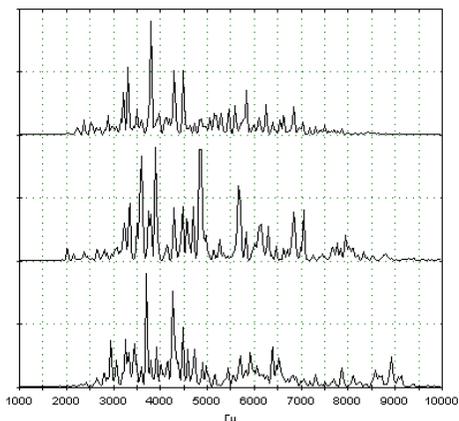
При наличии таких страховочных элементов в большинстве случаев на спектрограммах отмечается появление дополнительных пиков в диапазоне

частот 8500 – 9500 Гц при наличии основного пика с высокой амплитудой на частоте стоячей волны (рисунок 51).



**Рисунок 51**

Если на спектрограмме изолятора с «жестким» армировочным швом наблюдается множество пиков по всей ширине диапазона или в диапазоне частот 3000 – 6000 Гц, либо график имеет форму «пилы», то это свидетельствует об ошибках регистрации ЧХВР изолятора или о неисправности БР на момент обследования (рисунок 52).



**Рисунок 52**

Такие ЧХВР для анализа не применять и не рассматривать.

В процессе анализа спектрограмм возможны ситуации, когда в линейном масштабе просмотра высокая амплитуда пика на какой-либо из частот уменьшает масштаб по оси ординат таким образом, что становится сложно оценить спектр на остальных частотах.

В этих случаях рекомендуется использовать логарифмический масштаб просмотра спектрограммы, в котором легче определяются признаки изолятора с «эластичным» армировочным швом и признаки наличия дополнительных пиков за пределами диапазона оценки.

Если на спектрограмме изолятора с неустановленным типом армировочного шва и изготовителем при просмотре в линейном масштабе наблюдаются признаки дефекта, определяемые по дополнительным критериям допуска для изоляторов с «жестким» армировочным швом, то также рекомендуется дополнительно использовать логарифмический масштаб просмотра для предотвращения возможной ошибочной отбраковки исправного изолятора с «эластичным» армировочным швом.

## 7 Планирование обследований

При планировании обследований изоляторов РА-методом необходимо учитывать время эксплуатации и особенности изготовления изоляторов.

Вновь установленные изоляторы – обследования выполнять в течение двух лет два раза в год при установившейся положительной и отрицательной температуре окружающего воздуха.

При неизменности ЧХВР целесообразно сделать перерыв в обследованиях:

- для изоляторов с «эластичным» армировочным швом – 5...6 лет;
- для изоляторов с «жестким» армировочным швом – 3...4 года.

Изоляторы, находившиеся в эксплуатации – обследования выполнять в течение двух лет два раза в год при установившейся положительной и отрицательной температуре окружающего воздуха. При неизменности ЧХВР целесообразно сделать перерыв в обследованиях:

- для изоляторов с «эластичным» армировочным швом 3...4 года;
- для изоляторов с «жестким» армировочным швом 2...3 года.

При наличии изменений ЧХВР изолятора следует продолжать периодические обследования до принятия решения о выводе его из эксплуатации.

После замены неисправного изолятора следует выполнить новое обследование. Результаты обследований, выполненных до ремонта не рассматривать или удалить, а результаты нового обследования, выполненного после ремонта считать начальной точкой для последующих сравнений.

Периодичность обследования изоляторов должна определяться техническим руководством предприятия с учётом особенностей эксплуатации распределительного устройства (климатические условия, степень загрязнения, квалификация обслуживающего персонала и т. п.).

## Приложение А

### (обязательное)

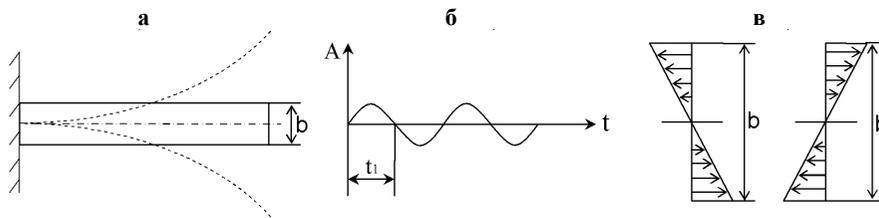
### Физические основы резонансного метода акустического неразрушающего контроля

В процессе эксплуатации для принятия мер по предотвращению аварийных ситуаций необходимо знать состояние механической прочности изоляторов. Одним из методов определения состояния механической прочности изоляторов является резонансный метод акустического неразрушающего контроля, который позволяет определить зарождение дефектов на ранних стадиях развития. Известно, что одним из параметров определяющих колебания механической системы является жёсткость, которая тесно связана с прочностью данной системы.

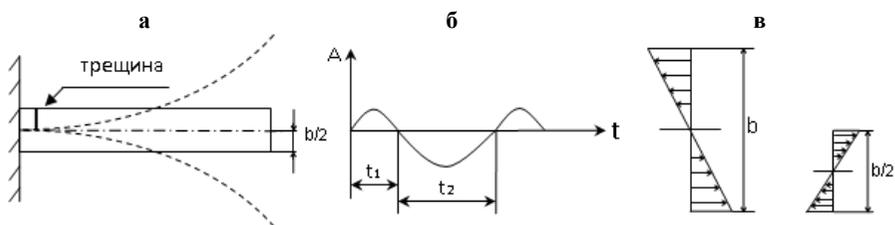
Контроль механической жёсткости изолятора возможен методами вынужденных колебаний. При этом контролируют либо частоты свободных колебаний, либо резонансные частоты колебаний изолятора (частоты свободных и резонансных колебаний механических систем являются функциями жёсткости этих систем). По частотному спектру колебаний изолятора оценивают состояние его механической прочности (работоспособность).

Физическая суть метода контроля жёсткости изолятора рассматривается на примере колебаний консольно закреплённой балки. На рисунках А.1 и А.2 изображены:

- *схемы колебаний не повреждённой балки (рисунок А.1а) и балки с трещиной до нейтрального слоя в районе заделки (рисунок А.2а);*
- *траектории движения свободного конца не повреждённой балки (рисунок А.1б) и балки с трещиной (рисунок А.2б);*
- *эпюры восстанавливающих усилий (механических напряжений) по опасному (повреждённому) сечению балок (рисунки А.1в и А.2в).*



**Рисунок А.1 – Неповрежденная балка**

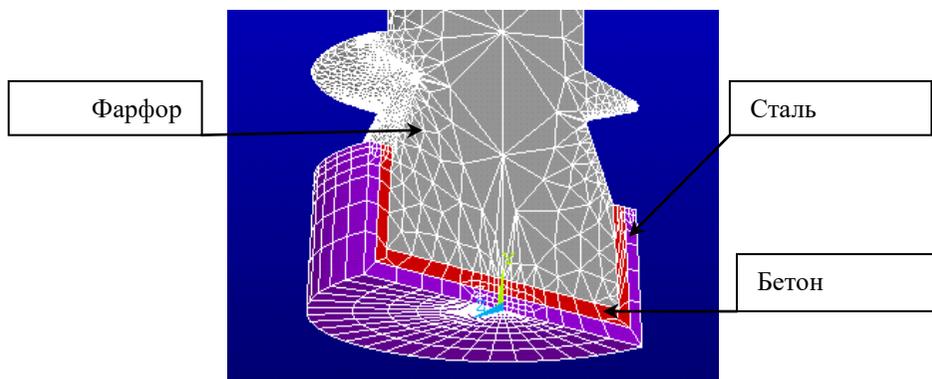


**Рисунок А.2** – Балка с трещиной до нейтрального слоя в районе заделки

Сравнение рисунков А.1 и А.2 показывает, что сумма восстанавливающих сил при раскрытой трещине значительно меньше, чем при закрытой (рисунок А.2 в) и, следовательно, время движения балки до замыкания трещины превышает время движения до размыкания (рисунок А.2б). Если вычислить (измерить) спектры колебаний балок, то выяснится, что колебания не повреждённой балки (рисунок А.1) происходят с частотой  $f_1 = 1/2t_1$ , а в колебаниях повреждённой балки присутствуют две частоты  $f_1 = 1/2t_1$  и  $f_2 = 1/2t_2$ .

Для более полного понимания процессов, протекающих в изоляторе при резонансном методе контроля, выполнен расчёт резонансных частот изолятора типа ИОС-110-400 в частотном диапазоне до 10000 Гц.

Аналитическое решение задачи об определении резонансных частот колебаний изолятора (продольных, изгибных и крутильных) чрезвычайно сложно, поэтому используют численные методы.



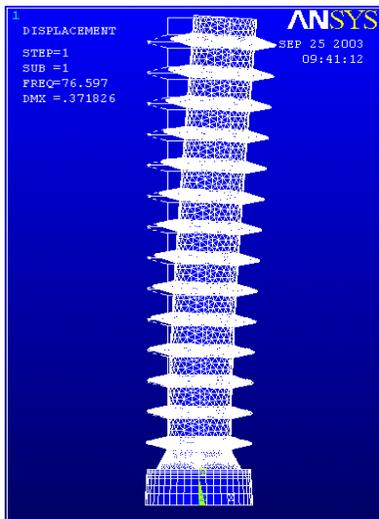
**Рисунок А.3** – Конструкция и материалы «заделки»

Формы колебаний, связанные с кручением, не рассматривались, как физически нереализуемые при предполагаемом возбуждении.

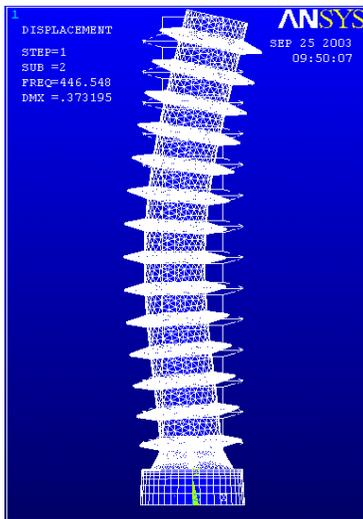
Формы колебаний представлены в таблице А.1 и на рисунках А.4 – А.19.

Таблица А.1

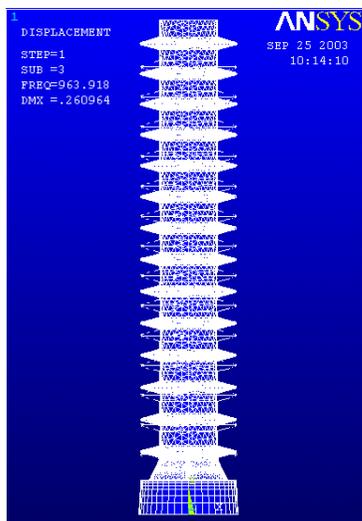
Порядковый номер формы колебаний	Частота, Гц
1	76,6
2	444,3
3	965,2
4	1141,3
5	2014,6
6	2857,2
7	2964,4
8	4075,1
9	4825,8
10	5101,6
11	6105
12	6756,1
13	7085,5
14	8004,7
15	8686,4
16	9023,5



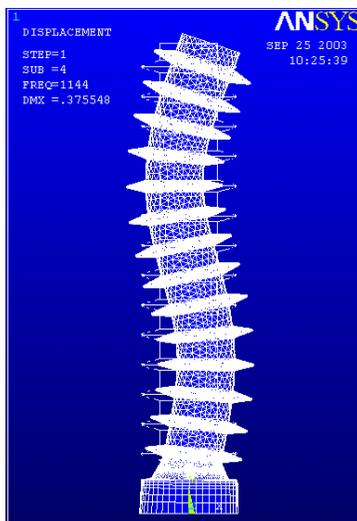
**Рисунок А.4** – 1-я собственная форма колебаний



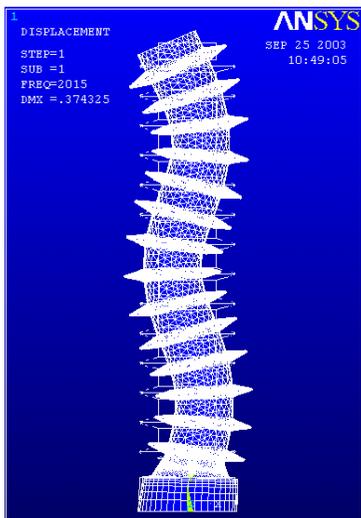
**Рисунок А.5** – 2-я собственная форма колебаний



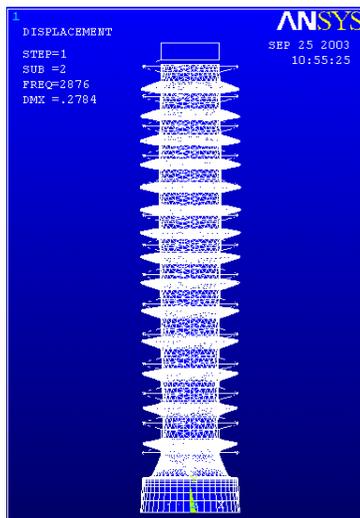
**Рисунок А.6** – 3-я собственная форма колебаний



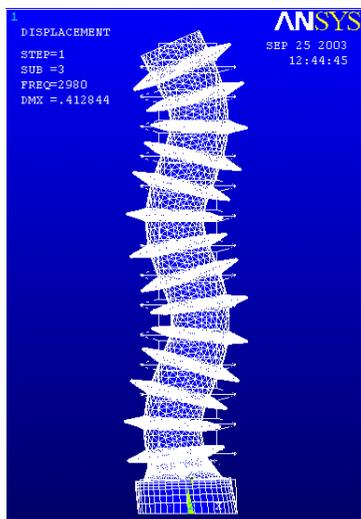
**Рисунок А.7** – 4-я собственная форма колебаний



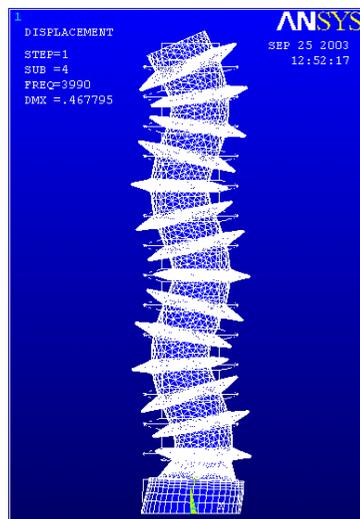
**Рисунок А.8** – 5-я собственная форма колебаний



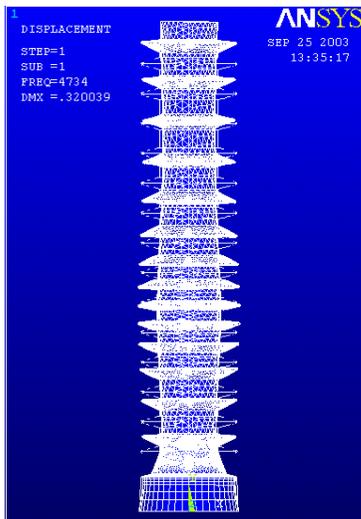
**Рисунок А.9** – 6-я собственная форма колебаний



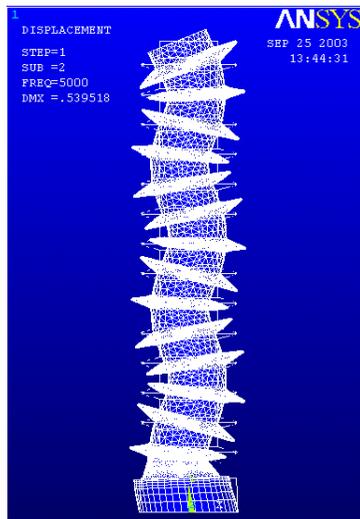
**Рисунок А.10** – 7-я собственная форма колебаний



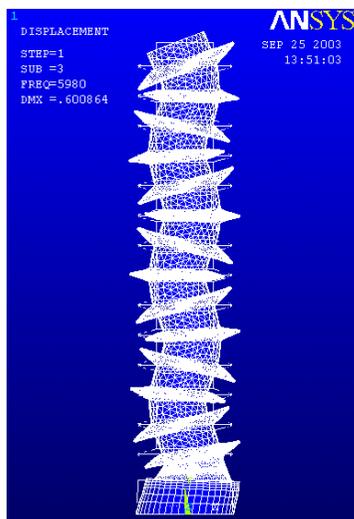
**Рисунок А.11** – 8-я собственная форма колебаний



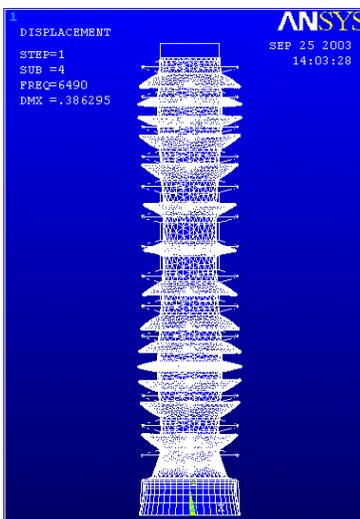
**Рисунок А.12** – 9-я собственная форма колебаний



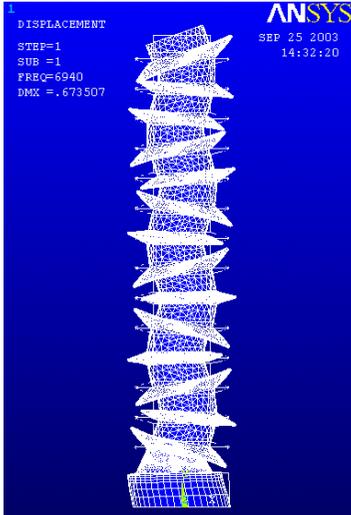
**Рисунок А.13** – 10-я собственная форма колебаний



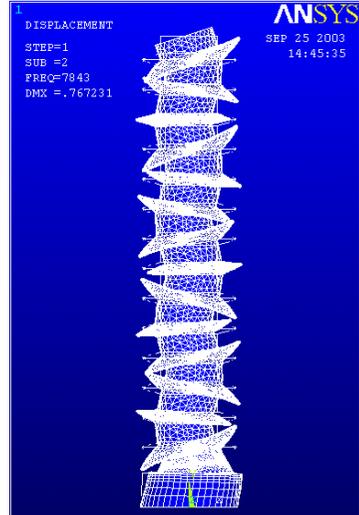
**Рисунок А.14** – 11-я собственная форма колебаний



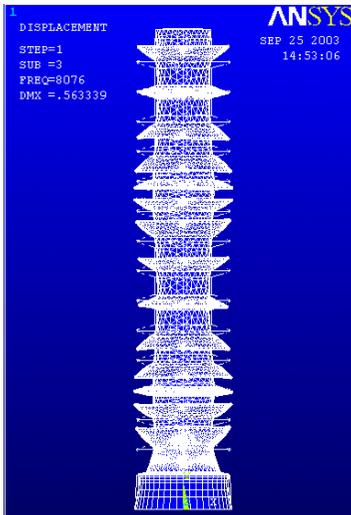
**Рисунок А.15** – 12-я собственная форма колебаний



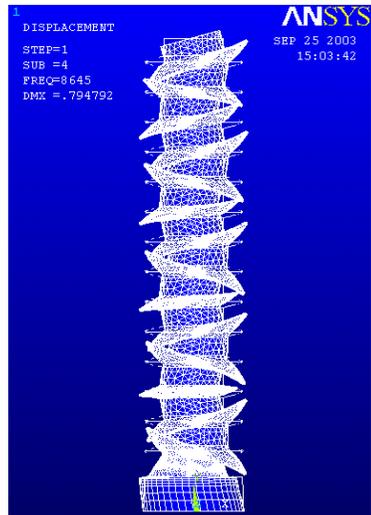
**Рисунок А.16** – 13-я собственная форма колебаний



**Рисунок А.17** – 14-я собственная форма колебаний



**Рисунок А.18** – 15-я собственная форма колебаний



**Рисунок А.19** – 16-я собственная форма колебаний

**Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:**

- *каждая третья форма колебаний – продольная;*
- *в данном частотном диапазоне отсутствуют колебания, связанные с формами колебаний юбок.*

Следует заметить, что колебания любых систем происходят по пути (по линии) наименьшего сопротивления. В частности, колебания происходят на одной или нескольких резонансных частотах (строго говоря, на частотах, близких к резонансным, поскольку механические колебания на резонансных частотах крайне неустойчивы). Колебания изоляторов при импульсном возбуждении (с достаточно коротким импульсом) и при нагружении вибрационной нагрузкой с широким спектром (не ниже 10000 Гц) происходят на частоте стоячей волны. 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). Частота стоячей волны в изоляторе определяется его длиной и скоростью звука в материале, из которого изготовлен изолятор. На иллюстрациях – это девятая форма колебаний (рисунок А.12). Для керамических изоляторов на напряжение 110 кВ частота стоячей волны находится в районе 4500 Гц.

Для определения характерных признаков состояния механической прочности изоляторов при резонансном методе контроля используется связь между прочностными и жесткостными характеристиками изолятора. Под термином «характерный признак состояния» понимается связь между неким параметром, характеризующим состояние изолятора и другим параметром, который может быть измерен или оценён путём доступных процедур.

Разрушающая нагрузка – это та нагрузка, при достижении которой происходит разрушение детали, образца и т. п. При изгибе стержня с жёстким креплением с одной стороны (заделка) под воздействием силы, приложенной с другой стороны, разрушающая нагрузка описывается выражением:

$$F = \frac{\sigma \cdot I}{L \cdot r}, \quad (\text{A.1})$$

где:

F – разрушающая нагрузка (сила);

$\sigma$  – напряжение (в данном случае временное сопротивление);

L – длина стержня (изолятора);

r – радиус опасного сечения стержня (изолятора);

I – статический момент инерции опасного сечения стержня (изолятора).

Частоты резонансных колебаний стержня с жёстким креплением с одной стороны (заделка) и свободным с другой стороны определяются выражением:

$$f_i = \frac{(k_i)^2}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{\mu}}, \quad (\text{A.2})$$

где:

$f_i$  – частота резонансных колебаний стержня (изолятора);

$k_i$  – корень уравнений Крылова;

$E$  – модуль упругости материала;

$\mu$  – масса единицы длины стержня (изолятора);

$i$  – порядковый номер собственной формы колебаний стержня (изолятора);

$E \cdot I$  – жёсткость стержня (изолятора) при изгибе.

Сравнение выражений А.1 и А.2 показывает, что для одного и того же стержня переменной величиной (аргументом) являются геометрические характеристики опасного сечения. Это наблюдение указывает на решение задачи по определению характерных признаков состояния механической прочности изоляторов при резонансном методе контроля.

В качестве параметра, характеризующего состояние изолятора, используют разрушающую нагрузку (соотношение А.1). В качестве измеряемого параметра – частоту резонансных колебаний изолятора. Сравнение по аргументу позволяет получить аналитическую зависимость между частотами резонансных колебаний и разрушающей нагрузкой изолятора:

$$\frac{F_1}{F_0} = \frac{I_1}{I_0} = \left( \frac{f_{i1}}{f_{i0}} \right)^2, \quad (\text{A.3})$$

где:

$F_0$  – разрушающая нагрузка исправного изолятора;

$F_1$  – разрушающая нагрузка дефектного изолятора;

$I_0$  – статический момент инерции опасного сечения исправного изолятора;

$I_1$  – статический момент инерции опасного сечения дефектного изолятора;

$f_{i0}$  – частота резонансных колебаний исправного изолятора;

$f_{i1}$  – частота резонансных колебаний дефектного изолятора.

Соотношение А.3 так же справедливо для продольных и крутильных н колебаний:

$$\frac{F_1}{F_0} = \frac{I_1}{I_0} = \frac{S_1}{S_0} = \frac{I_{P1}}{I_{P0}} = \left( \frac{f_{i1}}{f_{i0}} \right)^2, \quad (\text{A.4})$$

где:

$S_0$  – площадь опасного сечения исправного изолятора (продольные колебания);

$S_1$  – площадь опасного сечения дефектного изолятора (продольные колебания);

$I_{P0}$  – полярный момент инерции опасного сечения исправного изолятора (крутильные колебания);

$I_{P1}$  – полярный момент инерции опасного сечения дефектного изолятора (крутильные колебания).

Из соотношения А.4 видно, что при любой форме колебаний изолятора возможно обнаружить дефект. Таким образом, доказывается корректность использования резонансного метода для определения состояния механической прочности керамических опорно-стержневых изоляторов.

Для контроля состояния механической прочности опорно-стержневого изолятора достаточно отследить изменение его резонансных частот во времени.

Основным характерным признаком сохранения механической прочности опорно-стержневого изолятора является неизменность во времени частотных характеристик вибрационной реакции изолятора на воздействие возмущения типа «белый шум».

Если по истечении некоторого времени эксплуатации частотные характеристики вибрационной реакции изолятора остались неизменными, то его механическая прочность осталась на прежнем уровне. Если по истечении некоторого времени эксплуатации произошли изменения частотных характеристик вибрационной реакции изолятора (появились дополнительные пики в области низких или высоких частот) – в изоляторе в течение этого времени происходило развитие дефекта.

Для сравнения частотных характеристик вибрационной реакции изоляторов, имеющих дефекты и бездефектных изоляторов достаточно вычислить по формуле А.4 отношения частот дефектного изолятора к частотам бездефектного.

Для изучения колебаний изоляторов, имеющих дефекты (трещины) в районе нижнего и верхнего фланца при силовом возбуждении, приложенном

к нижнему фланцу, допустим, что трещина приводит к ослаблению жёсткости на 50 %, а распределение масс до и после трещины по высоте изолятора составляет 1/10.

Полученные результаты показывают, что появление трещины в районе нижнего фланца приводит к появлению дополнительной частоты ниже основного тона (частота около 4500 Гц) с соизмеримыми амплитудами в соотношении около  $\sqrt{1/5}$ , то есть помимо основного тона появляются дополнительные частоты существенно ниже основного тона. Появление трещины в районе верхнего фланца приводит к появлению дополнительных частот с соизмеримыми амплитудами выше основного тона в соотношении около  $\sqrt{5}$ .

**Исследование математических моделей изоляторов позволяет сделать следующие выводы:**

- *колебания изоляторов в большинстве случаев происходят на частотах стоячих волн;*
- *колебания нижнего фланца изолятора при приложении на него динамической силовой (импульсной или знакопеременной, не кинематической) нагрузки содержат полную информацию о частотных свойствах изолятора, при этом наличие дефекта (трещины) в районе нижнего фланца изолятора приводит к появлению дополнительных частот ниже основного тона колебаний, а в районе верхнего фланца – выше основного тона.*

Вышеизложенное позволяет сформулировать критерий, на основании которого устанавливается пригодность изоляторов при оценке состояния их механической прочности (критерий допуска).

**Основным критерием допуска при сохранении механической прочности керамического изолятора является неизменность во времени его амплитудно-частотных характеристик**

Наличие дополнительных частот выше и ниже частоты стоячей волны колебаний изолятора может указывать на наличие дефектов в районах верхнего или нижнего фланцев.

Амплитудно-частотные характеристики механических систем в большинстве случаев определяют одним из двух способов:

- *регистрация реакции системы на вибрационное нагружение сканирующей частотой;*
- *регистрация реакции системы на нагружение случайной вибрацией.*

Наиболее экономичным является способ регистрации реакции системы на нагружение случайной вибрацией.

## Основные понятия, определяющие механические свойства изолятора в условиях эксплуатации

**Временное сопротивление или предел прочности** – механическое напряжение, при достижении которого начинается разрушение материала образца.

**Разрушающая нагрузка или несущая способность детали или конструкции** – нагрузка, при достижении которой деталь или конструкция разрушается.

В процессе эксплуатации изоляторов отмечено три вида разрушений изоляторов:

- *разрушение фарфорового тела (район нижнего фланца ~ 75 %, район верхнего фланца ~ 25 %);*
- *разрушение армировочного шва (полное или частичное выкрашивание);*
- *разрушение фланцев (сквозные трещины).*

Причинами появления дефектов, приводящих к разрушению изоляторов, являются:

- *климатические факторы (воздействия перепадов температуры и влажности);*
- *развитие скрытых дефектов изготовления, которые не выявляются на заводе-изготовителе даже при формальном соответствии изоляторов всем требованиям действующей нормативно-технической документации;*
- *технологические нарушения при эксплуатации.*

Для определения воздействия перепадов температуры на узел «фланец–армировочный шов–фарфор» используется приблизительная оценка механических нагрузок, при которой принимаются исходные данные:

- *в конструкции изолятора отсутствует термокомпенсирующий слой;*
- *перепад температуры 100 °С;*
- *временное сопротивление: чугуна 0,65 ГПа; бетона 0,048 ГПа; фарфора 0,3 ГПа;*
- *модуль упругости: чугуна 113 ГПа; бетона 15 ГПа; фарфора 26 ГПа;*
- *температурный коэффициент линейного расширения: чугуна ( $10^{-5}$ ) °С<sup>-1</sup>; бетона ( $14 \times 10^{-6}$ ) °С<sup>-1</sup>; фарфора ( $3,4 \times 10^{-6}$ ) °С<sup>-1</sup>; льда ( $51 \times 10^{-6}$ ) °С<sup>-1</sup>.*

Максимальные механические напряжения при перепаде температуры возникают на границах сочленения различных материалов. Для их

вычисления определяют разницу относительных деформаций, и по известному соотношению вычисляют напряжения в каждой из сопрягаемых деталей. Отношение временного сопротивления материала к полученному в нём механическому напряжению называется коэффициентом запаса прочности. Вычисления показывают, что при заданных исходных данных коэффициенты запаса прочности составляют:

- *чугун ~ 14 ед.;*
- *сочленение армировочного шва (бетон) с фланцем ~ 8 ед.;*
- *сочленение армировочного шва (бетон) с фарфоровым телом ~ 3 ед.;*
- *фарфоровое тело ~ 11 ед.*

Указанные значения – минимально возможная оценка, тем не менее, они показывают, что:

- *наиболее нагруженным является сочленение армировочный шов-фарфоровое тело;*
- *наименьшей механической прочностью обладает армировочный шов;*
- *при самых тяжёлых температурных условиях эксплуатации изолятор, как механическая система, сохраняет свою прочность.*

С учётом наличия у изоляторов запаса прочности механические нагрузки, возникающие от ветровых воздействий и при переключениях, не превышают проектную несущую способность изоляторов. Кроме того, согласно требованиям ГОСТ Р 53034-2008 «Соприкасающиеся с армирующей связкой поверхности изоляционных частей и арматуры опорных изоляторов всех категорий размещения и классов напряжений должны быть покрыты ровным слоем компенсирующей промазки толщиной 0,2 – 0,3 мм». Это значительно снижает температурные нагрузки на составные части изолятора.

## **Материалы, используемые для изготовления изоляторов**

Электротехнический фарфор является композиционным материалом, состоящим в основном из кварцевых частиц, распределённых 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. При этом:

- *дефекты даже очень малых размеров (например, поверхностная трещина глубиной всего 0,1 мм, расположенная у нижнего фланца изолятора) способны привести к разрушению изолятора;*
- *длительность развития трещины от её зарождения до излома фарфора трудно прогнозировать (от секунд до нескольких лет);*

*• визуально обнаружить внутренние трещины фарфора, а также трещины, расположенные под фланцем изолятора, невозможно, и поверхностные трещины – очень сложно.*

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

Армировочный шов представляет собой механическую смесь фарфоровой крошки и цемента. По истечении некоторого времени армировочный шов стареет, и в нем происходят необратимые изменения. Под воздействием влаги (как всякий бетон армировочный шов достаточно гигроскопичен), температурных перепадов и внешних механических воздействий в нем образуются трещины (разрыхление армировочного шва). На некоторых энергопредприятиях ещё встречаются изоляторы, у которых герметизация армировочного шва выполнена расплавленной серой. По истечении некоторого времени сера кристаллизуется, и в герметизирующем слое также образуются трещины.

При попадании влаги в трещины армировочных швов и понижении температуры до отрицательных значений, в зависимости от количества влаги могут происходить следующие явления:

*• если количество влаги не превышает некоторую «критическую» величину, то происходит повышение прочности и жёсткости изолятора (смерзание армировочного шва);*

*• если количество влаги превышает «критическую» величину, то возможно выкрашивание армировочного шва, разрыв фланца или разрушение фарфорового тела (вода при замерзании увеличивается в объёме, а металл и фарфор уменьшаются).*

Изложенные выше рассуждения показывают, что наиболее нагруженной и наиболее подверженной повреждениям частью изолятора является армировочный шов (исключением является открытая микропористость фарфорового тела, но она выявляется в процессе изготовления изолятора).

В качестве иллюстрации на рисунках А.20 – А.22 изображены фотографии нижних фланцев изоляторов, разрушившихся при переходе среднесуточной температуры через  $0^{\circ}\text{C}$  (изоляторы находились в эксплуатации). Коричневые полосы указывают на присутствие влаги в армировочных швах.



**Рисунок А.20** – Нижний фланец изолятора ИОС 110-600. Разрушился на разъединителе



**Рисунок А.21** – Увеличенный вид трещины в армировочном шве изолятора ИОС 110-600



**Рисунок А.22** – Нижний фланец изолятора ИОС 110-600. Разрушился при демонтаже

## Приложение Б

### (справочное)

### Нормативы трудозатрат при выполнении обследований опорно-стержневых изоляторов без отключения рабочего напряжения мобильными индикаторными комплексами моделей МИК-1 и МИК-2

При планировании объёмов работ и трудозатрат следует учитывать, что количество времени для выполнения полного цикла обследований и производительность зависят от погодных условий, продолжительности мероприятий по допуску на ОРУ, модификации используемого оборудования и квалификации персонала.

Рекомендуемые средние нормативы трудозатрат и производительности для обученного персонала с минимальным уровнем квалификации при выполнении обследований опорно-стержневых изоляторов без отключения рабочего напряжения мобильными индикаторными комплексами МИК-1 и МИК-2 без использования дополнительных функций автоматизации указаны в таблице Б.1.

Таблица Б.1

Технологическая операция или группа операций	Норматив		
	времени	производительности	
		за 1 час	за 1 смену
Заполнение базы данных (ввод исходных данных о разъединителях), однократно при первичном обследовании	5 секунд на изолятор/ 0,5 минут на разъединитель	до 600 изоляторов/ до 100 разъединителей	не нормируется
	не требуется при последующих обследованиях		
Изготовление протокола регистрации (автоматическая генерация и печать)	от 2 до 10 минут	не нормируется	не нормируется
Идентификация, трёхкратная регистрация ЧХВР изолятора, запись данных в протоколе регистрации	1,5 минуты на изолятор/ 9 минут на разъединитель	от 20 до 30 изоляторов/ от 4 до 6 разъединителей	не нормируется
Экспресс-просмотр результатов регистрации на месте обследования			не предусмотрен
Копирование результатов регистрации	5 минут	не нормируется	не нормируется
Предварительный просмотр результатов регистрации, определение качества результатов регистрации	0,5 минут на изолятор	до 120 изоляторов	не нормируется

## продолжение таблицы Б.1

Технологическая операция или группа операций	Норматив		
	времени	производительности	
		за 1 час	за 1 смену
Ввод результатов регистрации в базу данных	5 секунд на изолятор/ 0,5 минут на разъединитель	до 600 изоляторов/ до 100 разъединителей	не нормируется
Анализ ЧХВР изоляторов и постановка диагноза	1 минута на изолятор/ 6 минут на разъединитель	60 изоляторов/ 10 разъединителей	не нормируется
Все действия, связанные с допуском и работой на ОРУ для мониторинга ЧХВР изоляторов при максимально неблагоприятных условиях (температура воздуха ниже минус 10 °С, наличие труднопроходимого снежного покрова)			90 изоляторов/ 15 разъединителей
при температуре воздуха выше +40 °С			150 изоляторов/ 25 разъединителей
при отсутствии неблагоприятных условий			210 изоляторов/ 35 разъединителей
Все действия, связанные с анализом результатов регистрации и постановкой диагноза			240 изоляторов/ 40 разъединителей
Полный цикл обследования с выдачей заключения на месте обследования за 1 смену при отсутствии неблагоприятных условий			90 изоляторов/ 15 разъединителей
Примечания			
1 За изолятор принимается поворотный или опорный изолятор/колонка на разъединителе или на шлейфовой опоре.			
2 За разъединитель принимается разъединитель, состоящий из 6 поворотных изоляторов/колонок.			
3 За смену принимается 8-часовой рабочий день с перерывом без учёта проезда до места работ.			
4 Не нормируются параметры, зависящие от конкретных условий и объёмов работ.			

Рекомендуемые средние нормативы трудозатрат и производительности для обученного персонала с минимальным уровнем квалификации при выполнении обследований опорно-стержневых изоляторов без отключения рабочего напряжения мобильными индикаторными комплексами МИК-2 с использованием автоматической идентификации по штрих-коду указаны в таблице Б.2.

Таблица Б.2

Технологическая операция или группа операций	Норматив		
	времени	производительности	
		за 1 час	за 1 смену
Заполнение базы данных (ввод исходных данных о разъединителях), однократно при первичном обследовании	0,5 минут на разъединитель	до 120 разъединителей	не нормируется
	не требуется при последующих обследованиях		
Изготовление протокола регистрации	не требуется		

продолжение таблицы Б.2

Технологическая операция или группа операций	Норматив			
	времени	производительности		
		за 1 час	за 1 смену	
Печать этикеток, однократно при первичном обследовании	1 минута на разъединитель	до 60 разъединителей	не нормируется	
	не требуется при последующих обследованиях			
Сохранение изображений этикеток в памяти ридера, однократно при первичном обследовании	0,5 минут на разъединитель	до 100 разъединителей	не нормируется	
	не требуется при последующих обследованиях			
Размещение этикеток на разъединителе	не нормируется	не нормируется	не нормируется	
Идентификация, регистрация ЧХВР изолятора	1 минута на изолятор/ 8 минут на разъединитель	от 20 до 30 изоляторов/ от 4 до 6 разъединителей	не нормируется	
Экспресс-просмотр результатов регистрации, определение качества результатов регистрации на месте обследования	0,5 минут на изолятор/ 1,5 минуты на разъединитель	до 30 изоляторов/ до 6 разъединителей	не нормируется	
Копирование результатов регистрации с автоматическим вводом в базу данных	5 минут	не нормируется	не нормируется	
Предварительный просмотр результатов регистрации	не требуется			
Ввод результатов регистрации в базу данных				
Анализ ЧХВР изоляторов и постановка диагноза	1 минута на изолятор/ 6 минут на разъединитель	60 изоляторов/ 10 разъединителей	не нормируется	
Все действия, связанные с допуском и работой на ОРУ для мониторинга ЧХВР изоляторов при максимально неблагоприятных условиях (температура воздуха ниже минус 10 °С, наличие труднопроходимого снежного покрова)			90 изоляторов/ 15 разъединителей	
			при температуре воздуха выше +40 °С	150 изоляторов/ 25 разъединителей
			при отсутствии неблагоприятных условий	210 изоляторов/ 35 разъединителей
Все действия, связанные с анализом результатов регистрации и постановкой диагноза			450 изоляторов/ 75 разъединителей	
Полный цикл обследования с выдачей заключения на месте обследования за 1 смену при отсутствии неблагоприятных условий			120 изоляторов/ 20 разъединителей	
Примечания				
1 За изолятор принимается поворотный или опорный изолятор/колонка на разъединителе или на шлейфовой опоре.				
2 За разъединитель принимается разъединитель, состоящий из 6 поворотных изоляторов/колонок.				
3 За смену принимается 8-часовой рабочий день с перерывом без учёта проезда до места работ.				
4 Не нормируются параметры, зависящие от конкретных условий и объёмов работ.				

Рекомендуемые средние нормативы трудозатрат и производительности для обученного персонала с минимальным уровнем квалификации при выполнении обследований опорно-стержневых изоляторов без отключения рабочего напряжения мобильными индикаторными комплексами МИК-2 с использованием беспроводной передачи данных на месте обследования указаны в таблице Б.3.

Таблица Б.3

Технологическая операция или группа операций	Норматив		
	времени	производительности	
		за 1 час	за 1 смену
Заполнение базы данных (ввод исходных данных о разъединителях), однократно при первичном обследовании	0,5 минут на разъединитель	до 120 разъединителей	не нормируется
	не требуется при последующих обследованиях		
Изготовление протокола регистрации	не требуется		
Идентификация, регистрация ЧХВР изолятора, беспроводная передача данных, копирование результатов регистрации с автоматическим вводом в базу данных, определение качества результатов регистрации	1 минута на изолятор/ 8 минут на разъединитель	от 25 до 35 изоляторов/ от 5 до 7 разъединителей	не нормируется
Экспресс-просмотр результатов регистрации на месте обследования	не требуется		
Копирование результатов регистрации			
Предварительный просмотр результатов регистрации			
Ввод результатов регистрации в базу данных			
Анализ ЧХВР изоляторов и постановка диагноза	1 минута на изолятор/ 6 минут на разъединитель	60 изоляторов/ 10 разъединителей	не нормируется
Все действия, связанные с допуском и работой на ОРУ для мониторинга ЧХВР изоляторов при максимально неблагоприятных условиях (температура воздуха ниже минус 10 °С, наличие труднопроходимого снежного покрова)			100 изоляторов/ 17 разъединителей
при температуре воздуха выше +40 °С			180 изоляторов/ 30 разъединителей
при отсутствии неблагоприятных условий			240 изоляторов/ 40 разъединителей
Все действия, связанные с анализом результатов регистрации и постановкой диагноза			450 изоляторов/ 75 разъединителей
Полный цикл обследования с выдачей заключения на месте обследования за 1 смену при отсутствии неблагоприятных условий			150 изоляторов/ 25 разъединителей
Примечания			
1 За изолятор принимается поворотный или опорный изолятор/колонка на разъединителе или на шлейфовой опоре.			
2 За разъединитель принимается разъединитель, состоящий из 6 поворотных изоляторов/колонок.			
3 За смену принимается 8-часовой рабочий день с перерывом без учёта проезда до места работ.			
4 Не нормируются параметры, зависящие от конкретных условий и объёмов работ.			