



**ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«ОКТАВА-ЭЛЕКТРОНДИЗАЙН»
ООО «ПКФ Цифровые приборы»**

**МВИ ПКФ 12-007.01
Вибрация трансформаторов**

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

ПРИЛОЖЕНИЕ К РУКОВОДСТВУ ПКДУ.411000.001.02 РЭ

Москва
2012 г.

Сервисный центр приборостроительного объединения

«Октава-ЭлектронДизайн» находится по адресу:

г. Москва, ул. Годовикова, д.9, стр.12, подъезд 12.1

ООО «ПКФ Цифровые приборы» (производство и ремонт).

Адрес для переписки: 129281, Москва, ул. Енисейская, д. 24, 150

Тел. / факс: +7 (495) 225-55-01

e-mail: service@octava.info

www.octava.info

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Назначение и область применения.....	4
2. Общие положения, определения и классификация, единицы измерения вибрации.....	4
2.1. Общие положения.....	4
2.2. Термины и определения	4
2.3. Единицы измерения.....	5
3. Подготовка к проведению измерения вибрации.	5
3.1. Применяемое оборудование.....	5
3.2. Меры предосторожности.....	5
3.3. Требования к установке вибропреобразователей.....	6
3.4. Требования к климатическим условиям	6
3.5. Учет фоновых вибраций.....	6
3.6. Проверка работоспособности прибора перед проведением измерений	7
4. Методика измерения среднеквадратичного значения ускорения в полосе частот 10 - 1000 Гц.....	7
4.1. Способы измерения виброускорения.....	7
4.2. Измерение ускорения в полосе частот 10 - 1000 Гц с использованием фильтра Fh.....	8
4.3. Измерение ускорения в полосе частот 10 - 1000 Гц с использованием 1/3-октавного спектрального анализа	10
4.4. Измерение ускорения в полосе частот 10 - 1000 Гц с использованием узкополосной фильтрации в режиме «Микровольтметр».....	10
5. Методика измерения среднеквадратичного значения виброскорости и перемещения в полосе частот 10-1000 Гц.....	12
6. Измерение 1/3 октавного спектра виброускорения, виброскорости и виброперемещения по 4 каналам	13
7. Узкополосный анализ виброскорости, виброперемещения и виброускорения	13
8. Приложение 1. Работа с «Мультизаписями»	14
9. Приложение 2. Библиография.....	15

1. Назначение и область применения

Настоящая методика выполнения измерений (МВИ) предназначена для измерения вибрации приборами ЭКОФИЗИКА и ЭКОФИЗИКА-110А при оценке состояния силовых трансформаторов согласно РД ЭО 0410-02 [1].

МВИ включает в себя определения основных терминов, методы и условия измерений вибрации, показатели точности измерений.

2. Общие положения, определения и классификация, единицы измерения вибрации

2.1. Общие положения

МВИ описывает выполнение измерений следующих вибрационных характеристик:

- среднеквадратичное значение виброускорения в полосе частот 10-1000 Гц;
- среднеквадратичное значение виброскорости в полосе частот 10-1000 Гц;
- среднеквадратичное значение виброперемещения в полосе частот 10-1000 Гц;
- спектр виброускорения;
- спектр виброскорости.

2.2. Термины и определения

Используемые в данной МВИ термины соответствуют ГОСТ 24346-80 [2] и ГОСТ Р 8.714-2010 [3].

Вибрация – колебательное движение точки или механической системы.

Среднеквадратичное значение X_T величины x , являющейся функцией времени:

$$X_T(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T}^t x^2(\tau) d\tau}, \quad (1)$$

где T – время измерения или время усреднения, $x(\tau)$ - мгновенное значение.

Фоновая (остаточная) вибрация – совокупность вибраций, исходящих от любых источников кроме обследуемого.

Спектр вибрации – упорядоченная по частотам совокупность амплитуд или среднеквадратичных значений синусоидальных колебаний, суперпозиция которых реализует исследуемый физический процесс.

Октавный спектр вибрации – представление вибрационного спектра в виде совокупности среднеквадратичных значений, измеренных полосовыми октавными фильтрами.

Полосовой фильтр – фильтр с единственной полосой пропускания, которая простирается от нижней граничной частоты, большей нуля, до верхней граничной частоты.

Октавный фильтр – полосовой фильтр, у которого отношение верхней граничной частоты к нижней граничной частоте равно 2 (или $10^{1/3}$ по ГОСТ 17168-82).

Третьоктавный фильтр – полосовой фильтр, у которого отношение верхней граничной частоты к нижней граничной частоте равно $\sqrt[3]{2}$ (или $10^{1/9}$ по ГОСТ 17168-82).

Спектр с постоянной абсолютной шириной полосы – представление вибрационного спектра в виде совокупности среднеквадратичных значений, измеренных полосовыми фильтрами с одинаковой абсолютной шириной пропускания.

Дискретный спектр – спектр колебания, энергия которого сосредоточена на нескольких отдельных частотах.

Детерминированная вибрация – постоянная вибрация, имеющая дискретный спектр.

Непрерывный спектр – спектр колебания, энергия которого непрерывно распределена в широкой полосе частот.

Преобладающая дискретная составляющая в спектре – спектральная составляющая (компонента), амплитуда которой значительно превосходит амплитуды соседних.

2.3. Единицы измерения

Ускорение (виброускорение): $м/с^2$.

Уровень виброускорения L_a в децибелах (дБ):

$$L_a = 10 \lg \left(\frac{a}{a_0} \right)^2 = 20 \lg \left(\frac{|a|}{a_0} \right), \quad a_0 = 10^{-6} \text{ м/с}^2 \quad (2.1)$$

Здесь a – ускорение, a_0 – опорное значение, соответствующее уровню 0 дБ.

Для перевода ускорения из логарифмической шкалы (дБ) в линейную ($м/с^2$) используется формула:

$$a = 10^{L_a / 20} * a_0 \quad (2.2)$$

Скорость (виброскорость): $м/с$ ($мм/с$).

Уровень виброскорости в дБ:

$$L_v = 10 \lg \left(\frac{v}{v_0} \right)^2 = 20 \lg \left(\frac{|v|}{v_0} \right), \quad v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с} \quad (2.3)$$

Перемещение: $м$ ($мкм$).

3. Подготовка к проведению измерения вибрации.

3.1. Применяемое оборудование

- Шумомер-виброметр, анализатор спектра **Экофизика 110А, ЭКОФИЗИКА**.
- Вибропреобразователи однокомпонентные **АР2037-100** или **АР98-100**.
- Вибропреобразователи трехкомпонентные: **АР2082М** или **АР2038**.
- Установочные магниты **АМ01-1** и напольные платформы **003ОП**.

По согласованию с разработчиком МВИ допускается использование вибропреобразователей и крепежных приспособлений, являющихся аналогами перечисленных выше.

3.2. Меры предосторожности

При проведении измерений следует соблюдать меры предосторожности, изложенные в **ПКДУ.411000.001.02РЭ**.

При измерении вибрации оборудования, находящегося под высоким напряжением, следует соблюдать требования техники безопасности, установленные для данного оборудования. При измерениях следует учитывать, что корпус вибропреобразователей (ВП) составляет единый контур с внешней частью разъёмов измерительно-индикаторного блока (ИИБ) и с резьбовым креплением заземления на задней части корпуса ИИБ.

Запрещается отсоединять адаптеры и датчики, если прибор включен или соединён через порт USB с компьютером или зарядным устройством.

Запрещается вскрывать прибор или его составные части (за исключением крышки батарейного отсека), подвергать механическим воздействиям, изменять конструкцию прибора, производить самостоятельный ремонт.

3.3. Требования к установке вибропреобразователей

Следует использовать ВП с установочным резонансом не менее 5000 Гц. Основание ВП должно плотно прилегать к поверхности вибрирующего объекта или промежуточного приспособления.

Примечание. Установочный резонанс приводится в паспорте ВП.

Не допускается крепить ВП к неплоским поверхностям, к поверхностям, содержащим заусенцы и грязь.

ВП крепится к исследуемой поверхности или к промежуточному приспособлению посредством резьбового соединения (оптимальный метод), клеевым способом (специальный клей, мастика, воск – при измерениях до нескольких сот герц) или с использованием сильного магнита (сила притяжения не менее 1 кН).

Переходные элементы не должны изменять вибрационных характеристик тех конструкций, к которым они присоединяются.

При установке нескольких ВП на общую проводящую поверхность могут возникать электрические помехи, которые особенно сильно проявляются на частоте 50 Гц.

Для устранения или уменьшения влияния электрической помехи следует:

- крепить ВП посредством изолирующей шпильки (не входит в типовой комплект, запрашивается дополнительно у изготовителя);
- проводить замеры одним датчиком последовательно;
- использовать ВП с изолированным основанием.

3.4. Требования к климатическим условиям

Рабочие условия эксплуатации должны соответствовать требованиям паспортов средств измерений.

Если перед началом измерений прибор подвергался значительным температурным перепадам (от 10°C), то следует выждать не менее 30 минут для установления термодинамического равновесия с окружающей средой.

3.5. Учет фоновых вибраций

При организации измерений вибраций от оборудования следует принять меры к снижению уровня фоновых (остаточных) вибраций. Для уменьшения влияния источников остаточных вибраций измерения следует проводить в период наименьшей интенсивности движения транспорта, при наличии такового в непосредственной близости от обследуемого объекта. В случае если в какой-либо полосе частот (третьоктавной, узкой, широкой полосы 10-1000 Гц) разность между измеренным уровнем вибрации от оборудования и его фоновой величиной не превышает 10 дБ, необходимо вносить поправку в результаты измерения в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1. Учёт фоновых (остаточных) вибраций

Разность измеряемой и фоновых вибраций, дБ	4-5	6-9	Более 10
Величина, вычитаемая из измеренного значения, дБ	2	1	0

Если разность между измеренным и фоновыми уровнями вибрации менее 4 дБ, то использовать результат измерения для оценки вибрации оборудования недопустимо.

Фоновые вибрации могут возникать при проезде железнодорожного транспорта, метро, трамваев, работе промышленного оборудования.

Следует обеспечить отсутствие постороннего механического воздействия импульсного характера на трансформатор при проведении измерений. Кратковременные механические воздействия и удары имеют широкий спектр и внесут помехи в широком диапазоне частот.

3.6. Проверка работоспособности прибора перед проведением измерений

Наилучший способ убедиться в работоспособности прибора – подать на вибропреобразователь ускорение известной амплитуды и частоты с помощью вибростола или виброкалибратора и проверить, соответствуют ли показания индикаторного блока этим опорным значениям.

Если такой возможности нет, проверку работоспособности следует проводить по следующей схеме:

- включить прибор с подключенными ВП в нужный режим измерения и убедиться, что для каждого канала установлены соответствующие калибровочные настройки (см. следующий раздел);
- положить ВП на мягкий материал (вата, ветошь и т.п.), зафиксировать кабели, запустить измерения; через минуту поле запуска показания индикаторного блока для характеристики «СКЗ-5 сек» в третьоктавных полосах должны составлять примерно 50 - 70 дБ по каждому из проверяемых измерительных каналов;
- убедиться, что прибор реагирует на встряски и лёгкие щелчки по ВП резкими всплесками показаний.

4. Методика измерения среднеквадратичного значения ускорения в полосе частот 10 - 1000 Гц

4.1. Способы измерения виброускорения

Настоящая МВИ предусматривает три способа измерения виброускорения в полосе частот 10 – 1000 Гц:

- **Способ А** (см. п.4.2): измерение с использованием фильтра Fh;
- **Способ Б** (см. п.4.3): измерение с использованием 1/3-октавного спектрального анализа;
- **Способ В** (см. п.4.4): измерение с использованием узкополосной фильтрации в режиме «Микровольтметр».

Способ А наиболее прост и позволяет получить нужные показатели ускорения одновременно по трем или четырем каналам (в зависимости от выбранного режима). Однако он не может быть использован для оценки скорости, перемещения или спектрального анализа.

Способ Б также позволяет проводить измерения одновременно по трем или четырем каналам. Он более сложен и требует проведения дополнительных расчетов после завершения измерений (энергетического суммирования среднеквадратичных значений индивидуальных спектральных компонент). Однако этот способ помимо одночисловой оценки ускорения в широкой полосе частот дает спектральную картину и может применяться для расчетов скорости и перемещения.

Способ В предусматривает только одноканальные измерения. Его следует использовать в тех случаях, когда помимо измерения ускорения в полосе частот 10-1000 Гц требуется выполнить высокоточный анализ частот и амплитуд отдельных спектральных компонент. Преимущества использования режима «Микровольтметр» заключаются в малой погрешности измерения уровня виброускорения в узкой полосе, а также в возможности с точностью до долей герца определить частоту дискретной составляющей.

4.2. Измерение ускорения в полосе частот 10 - 1000 Гц с использованием фильтра Fh

4.2.1. Схемы подключения вибропреобразователей

Для измерения ускорения по четырем каналам подключить вибропреобразователи ко входам А, X, Y, Z индикаторного блока ЭКОФИЗИКА так, как указано на рис.1.



1	ИБ ЭКОФИЗИКА-D с ИМ HF	
2	Кабель BNC-микроdot (10-32UNF)	
3	Однокомпонентные ВП. Допускается использовать вместо трех 1-компонентных датчиков один трёхкомпонентный.	AP98, AP2037-100 и аналогичные

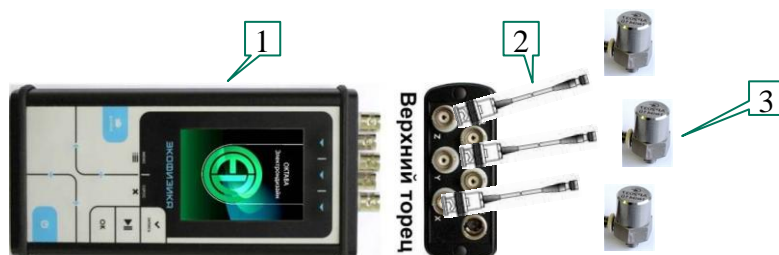
Рис.1. Схема подключения ВП по 4 каналам

Для измерения ускорения по трем каналам подключить вибропреобразователи ко входам X, Y, Z индикаторного блока ЭКОФИЗИКА так, как указано на рис.2 и 3.



1	ИБ ЭКОФИЗИКА-D с ИМ HF	
2	Кабель Микроdot-3xВNC	AK-21 и аналогичные
3	Трёхкомпонентный ПЕРЕ-датчик	AP2082M, AP2038P и аналогичные

Рис.2. Схема подключения трехкомпонентных ВП



1	ИБ ЭКОФИЗИКА-D с ИМ HF	
2	Кабель BNC-микроdot (10-32UNF)	
3	Однокомпонентные ПЕРЕ-датчики	AP98, AP2037-100 и аналогичные

Рис.3. Схема подключения трех однокомпонентных ВП

4.2.2. Установить датчик в точку измерений, соблюдая требования п.3.2 и 3.3. В соответствии с руководством по эксплуатации (РЭ) [4] включить режим измерений ЛокВиб-Эко-3 или Анализ-4-МФ.

Режим **ЛокВиб-Эко-3** используется для проведения измерений по 1-3 каналам (**X, Y, Z**). В этом режиме результаты измерений в широкополосных фильтрах (в том числе в фильтре **Fh**) могут быть представлены как в линейных единицах (м/с^2), так и в логарифмических (дБ относительно 1 мкм/с^2). Спектральные (октавные и третьоктавные) величины индицируются в дБ относительно 1 мкм/с^2 .

Режим **Анализ-4-МФ** используется для измерений по четырем каналам. В этом режиме все результаты показываются на индикаторе в дБ относительно опорного уровня условной инженерной единицы **ЕУ**. Если в паспорте прибора приведены калибровочные настройки для измерений вибрации с использованием единиц **ЕУ** (опорный уровень, номинальная чувствительность, калибровочная поправка), то при их использовании в режиме **Анализ-4-МФ** показания будут соответствовать дБ относительно 1 мкм/с^2 .

4.2.3. Проверить калибровочные настройки прибора. Настройки измерительных каналов прибора должны соответствовать таблице 2. Управление индикаторным блоком **ЭКОФИЗИКА** при контроле калибровочных настроек описано в п. 6.10 РЭ [4].

Таблица 2. Параметры настройки измерительных каналов

Обозначение канала на торце ИИБ	X	Y	Z	A
Обозначение канала в режиме Калибровка (п.6.7 РЭ)	IEPE1	IEPE2	IEPE3	IEPE0
Единица измерения, используемая в режиме ЛокВиб-Эко-3	м/с^2 Локальная вибр.	м/с^2 Локальная вибр.	м/с^2 Локальная вибр.	НЕТ
Индикация канала в окне измерений режима ЛокВиб-Эко-3	X	Y	Z	НЕТ
Обозначение калибровочных настроек в меню настройки ЛокВиб-Эко-3	Канал X	Канал Y	Канал Z	НЕТ
	Опорный уровень, номинальная чувствительность (датчик) и калибровочная поправка должны совпадать со значениями п.6 паспорта [5] для соответствующего ВП и единицы м/с^2			
Единица измерения, используемая в режиме Анализ-4-МФ	EU	EU	EU	EU
Индикация канала в окне измерений режима Анализ-4-МФ	K1	K2	K3	K0
Обозначение калибровочных настроек в меню настройки Анализ-4-МФ	Канал 1	Канал 2	Канал 3	Канал 0
	Опорный уровень, номинальная чувствительность (датчик) и калибровочная поправка должны совпадать со значениями п.6 паспорта [5] для соответствующего ВП и единицы EU			

При необходимости замены датчика следует изменить калибровочные настройки. Процедура изменения калибровочных настроек описана в руководстве по эксплуатации прибора [4].

4.2.4. Если в процессе измерений предполагается проводить автоматическую запись в память хронограмм результатов, установить в меню режима измерений режим записи **Мультизапись** и установить параметры мультизаписи согласно Приложению 1.

4.2.5. Перейти в окно измерений **«Все каналы»**, установить индикацию **Fh, Leq, дБ** (см.[4]).

4.2.6. Запустить измерение. Через 30 секунд нажать клавишу **СБРОС**. После этого проводить замер не менее 60 секунд. Измерительный интервал должен охватывать все характерные особенности работы исследуемого оборудования. Если оборудование имеет циклический характер работы, то измерение должно охватывать несколько типичных циклов (не менее трех). Измерение следует продолжать до тех пор, пока величина **Leq** не стабилизируется (то есть в течение 5-10 секунд изменяется не более чем на 0,1 дБ).

4.2.7. Остановить измерение. Снять показания прибора по каждому из задействованных измерительных каналов в полосовом фильтре **Fh** с характеристикой **Leq**. Для режима **ЛокВиб-Эко-3** можно при снятии показаний переключить индикацию на м/с^2 .

- 4.2.8. Для перевода величин, индикация которых проводится только в дБ, в линейный масштаб (в м/с²) воспользоваться формулой 2.2.
- 4.2.9. Относительная погрешность измерения виброускорения в полосе 10-1000 Гц по описанной методике не превышает ±1.0 дБ (±12%) [4, 6].

4.3. Измерение ускорения в полосе частот 10 - 1000 Гц с использованием 1/3-октавного спектрального анализа

- 4.3.1. Провести подготовку к измерениям согласно пунктам 4.2.1 - 4.2.4.
- 4.3.2. Перейти в окно измерений 1/3-октавы, установить индикацию **Leq** [4].
- 4.3.3. Провести измерения согласно пункту 4.2.6. После этого снять показания в 1/3-октавах.
- 4.3.4. Рассчитать ускорение в полосе частот 10-1000 Гц по формуле:

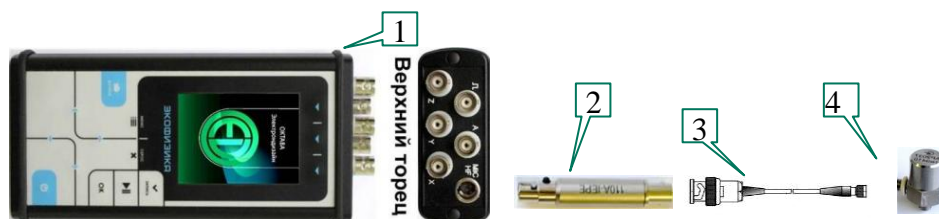
$$a_{10-1000} = \sqrt{\sum 10^{L_{ai}/10}} \times a_0, \quad (4.1)$$

где L_{ai} – уровень ускорения в дБ для i-й 1/3-октавной полосы, $a_0 = 10^{-6}$ м/с².

- 4.3.5. Относительная погрешность измерения виброускорения в полосе частот 10-1000 Гц по описанной методике не превышает ±0.5 дБ (±5%) [4, 6].

4.4. Измерение ускорения в полосе частот 10 - 1000 Гц с использованием узкополосной фильтрации в режиме «Микровольтметр»

- 4.4.1. Подключить вибропреобразователь ко входу «ММС/НН» измерительно-индикаторного блока (ИИБ) так, как указано на рис.4.



1	ИИБ ЭКОФИЗИКА-D с ИМ НН	
2	Адаптер 110А-IEPE	
2	Кабель BNC-микродот (10-32UNF)	
3	Однокомпонентные IEPE-датчики	AP98, AP2037-100 и аналогичные

Рис.4. Схема подключения однокомпонентного датчика к разъему «ММС/НН»

- 4.4.2. Установить датчик в точку измерений, соблюдая требования п.3.2 и 3.3. В соответствии с руководством по эксплуатации (РЭ) [4] включить режим измерений **Микровольтметр**.

Примечание. В режиме **Микровольтметр** все результаты показываются на индикаторе в дБ относительно 1 мкВ.

- 4.4.3. Проверить калибровочные настройки прибора. Настройки измерительного канала прибора должны соответствовать заводским, а именно:

Калибровка: +0.00 дБ

Опорный уровень: 1.00E-3 мВ

Датчик: 1.00E-3 В/мВ

- 4.4.4. Если предполагается в процессе измерений проводить автоматическую запись в память хронограмм результатов, установить в меню режима измерений режим записи **Мультизапись** и установить параметры мультизаписи согласно Приложению 1.

- 4.4.5.** Перейти в окно измерений **БПФ**, запустить измерения.
- 4.4.6.** Выделить первую преобладающую дискретную составляющую в спектре, навести на неё курсор, нажать клавишу **ДАННЫЕ** и перейти в окно **Вольтметр**.
- 4.4.7.** Произвести автоподстройку частоты нажатием кнопки **ДАННЫЕ**.
- 4.4.8.** Уменьшить ширину полосы **BW** так, чтобы форма линии была симметричной и в выбранную линию не попадало больше одной дискретной составляющей. Если спектр исследуемой вибрации состоит из дискретных составляющих на частотах 50 Гц и кратных 50 Гц, то параметр **BW** выбирать равным **33.0** и уменьшать до тех пор, пока показания при уменьшении полосы не начнут уменьшаться более чем на 0.2 дБ. Далее произвести повторную подстройку частоты.
- 4.4.9.** Нажать **СБРОС** и начать замер. Замер проводить не менее 60 секунд. Измерительный интервал должен охватывать все характерные особенности работы исследуемого оборудования. Если оборудование имеет циклический характер работы, то измерение должно охватывать несколько типичных циклов (не менее трех). Измерение следует продолжать до тех пор, пока показания с характеристикой **Leq** не стабилизируются (то есть в течение 5-10 секунд изменяются не более чем на 0,1 дБ).
- 4.4.10.** Остановить измерение. Снять показания прибора с характеристикой **Leq** для исследуемой дискретной составляющей.
- 4.4.11.** Рассчитать величину ускорения a_i данной дискретной составляющей по формуле:

$$a_i = a_0 \cdot 10^{\frac{L_i + K + \Delta}{20}}, \quad (4.2)$$

где L_i – показания прибора, K – масштабный коэффициент, зависящий от номинальной чувствительности ВП (см. таблицу 3), Δ – калибровочная поправка для используемого ВП при подключении к разъему «МС/НФ» (см. паспорт), а $a_0 = 10^{-6} \text{ м/с}^2$.

Таблица 3. Параметр К для различных ВП

Вибропреобразователь	К
ВП номинальной чувствительностью 10 мВ/г (АР2038Р и пр.)	60
ВП номинальной чувствительностью 100 мВ/г (АР2082М, АР2081-100, АР2037-100, АР98-100, и др.) Их аналоги с чувствительностью 100 мВ/г	40

- 4.4.12.** Повторить пункты 4.4.4-4.4.10 для остальных преобладающих дискретных составляющих вибрации.
- 4.4.13.** Рассчитать ускорение в полосе 10-1000 Гц по формуле (4.3):

$$a_{10-1000} = \sqrt{\sum a_i^2}, \quad (4.3)$$

где a_i – виброускорение **i-й** дискретной составляющей. Суммирование проводится только по тем составляющим, которые отличаются от максимальной спектральной компоненты не более чем в 100 раз (на 40 дБ).

- 4.4.14.** Относительная погрешность измерения виброускорения в полосе 10-1000 Гц по описанной методике не превышает ± 0.2 дБ ($\pm 2.5\%$) [4].

5. Методика измерения среднеквадратичного значения виброскорости и перемещения в полосе частот 10-1000 Гц

Настоящая МВИ предусматривает способ измерения виброскорости и перемещения в полосе частот 10 – 1000 Гц, основанный на измерении виброускорения с последующим интегрированием в частотной области.

5.1. Провести измерение уровней виброускорения в 1/3-октавных полосах согласно пунктам 4.3.1 - 4.3.3.

5.2. Рассчитать виброскорость и перемещение в третьоктавных полосах по формулам (5.1), (5.2).

$$v_i = \frac{a_i}{2\pi f_i}, \quad (5.1)$$

$$x_i = \frac{a_i}{4\pi^2 f_i^2}, \quad (5.2)$$

где a_i, v_i, x_i – виброускорение, виброскорость и перемещение в i -й третьоктавной полосе, f_i – среднегеометрическая частота i -й третьоктавной полосы. Соотношение среднегеометрических и номинальных частот указано в таблице 4.

Таблица 4. Номинальные и среднегеометрические частоты третьоктавных полос

Номинальная частота 1/3-октавы, Гц	Среднегеометрическая частота, Гц
10	10,000
12,5	12,589
16	15,849
20	19,953
25	25,119
31,5	31,623
40	39,811
50	50,119
63	63,096
80	79,433
100	100,00
125	125,89
160	158,49
200	199,53
250	251,19
315	316,23
400	398,11
500	501,19
630	630,96
800	794,33
1000	1000,0

5.3. Рассчитать виброскорость и перемещение в полосе 10-1000 Гц по формулам (5.3) и (5.4).

$$v_{10-1000} = \sqrt{\sum v_i^2}, \quad (5.3)$$

$$x_{10-1000} = \sqrt{\sum x_j^2}, \quad (5.4)$$

где v_i – виброскорость i -й дискретной составляющей, x_j – виброперемещение j -й дискретной составляющей.

5.4. Относительная погрешность измерения скорости в полосе 10-1000 Гц по описанной методике не превышает ± 1.2 дБ ($\pm 15\%$).

Относительная погрешность измерения перемещения в полосе 10-1000 Гц по описанной методике не превышает ± 1.5 дБ ($\pm 20\%$).

5.5. При измерении вибрации, в спектре которой присутствуют только частоты 50 Гц, 100 Гц, 150 Гц, 200 Гц, 250 Гц, 300 Гц, 500 Гц и 700 Гц при расчетах по формулам (5.3) и (5.4) за f_i принимать частоты из приведённого списка.

Методику точного определения частот дискретных составляющих см. в пунктах 4.4.1 - 4.4.8. Относительная погрешность измерения виброскорости и перемещения в полосе 10 – 1000 Гц в этом случае составит ± 0.5 дБ ($\pm 5\%$).

6. Измерение 1/3 октавного спектра виброускорения, виброскорости и виброперемещения по 4 каналам

6.1. Провести измерение в режиме **Анализ-4-МФ** согласно пунктам 4.3.1 - 4.3.3.

6.2. Рассчитать среднеквадратичное значение виброскорости и перемещения в третьоктавных полосах согласно п. 5.2.

6.3. Относительная погрешность измерения виброускорения в 1/3-октавных полосах по описанной методике не превышает ± 0.3 дБ ($\pm 3.5\%$) [4, 6].

Относительная погрешность измерения виброскорости в 1/3-октавных полосах по описанной методике не превышает ± 1.1 дБ ($\pm 14\%$) [6].

Относительная погрешность измерения виброускорения в 1/3-октавных полосах по описанной методике не превышает ± 1.4 дБ ($\pm 17\%$) [6].

7. Узкополосный анализ виброскорости, виброперемещения и виброускорения

7.1. Провести узкополосный анализ виброускорения в режиме **Микровольтметр** согласно пунктам 4.4.1 - 4.4.12.

7.2. Рассчитать виброскорость и перемещение отдельных дискретных составляющих по формулам (7.1) и (7.2).

$$v_i = \frac{a_i}{2\pi f_i}, \quad (7.1)$$

$$x_i = \frac{a_i}{4\pi^2 f_i^2}, \quad (7.2)$$

где a_i, v_i, x_i – виброускорение, виброскорость и перемещение i -й дискретной составляющей, f_i – частота j -й дискретной составляющей, полученная в результате выполнения пункта 4.4.8.

7.3. Относительная погрешность измерения виброускорения, виброскорости и виброперемещения по описанной методике не превышает ± 0.15 дБ ($\pm 1.5\%$) [4].

8. Приложение 1. Работа с «Мультизаписями»

Приборы серии ЭКОФИЗИКА имеют опцию автоматической записи измерений в файл через равные промежутки времени. Такие записи удобно использовать для обработки полученных при замере данных в лабораторных условиях, а также для представления результатов замера.

Если проводится не однократная запись в файл, а продолжительная во времени мультизапись, то в лабораторных условиях можно построить хронограмму любого из фиксируемых параметров и получить статистический анализ полученных при замере данных.

Хронограммы – это диаграммы, показывающие временную историю того или иного параметра. Хронограммы позволяют:

- проследить динамику измерения виброускорения в полосе 10-1000 Гц либо в любой из октавных или третьоктавных полос;
- определить длительность или периодичность вибрационного процесса;
- выделить моменты случайных помех и не учитывать эти моменты при усреднении.

Предположим, что во время измерения в некоторый момент времени произошло случайное событие (помеха). На рисунке 5 приведён пример хронограммы виброускорения с коррекцией **Fh**. Из диаграммы видно, что есть постоянный случайный вибрационный процесс и есть два «всплеска». Так как при мультизаписи измерения фиксируются все параметры, можно проанализировать спектр виброускорения в моменты помех. Виброускорение в момент всплеска имеет широкополосный спектр – следовательно, природа этих вибрационных событий имеет случайный характер и не имеет отношения к основному постоянному вибрационному процессу. Проведя усреднение за представительный временной интервал, получим корректный результат замера.

Подробнее о работе с программным обеспечением **Signal+** и мультизаписями - в [7].

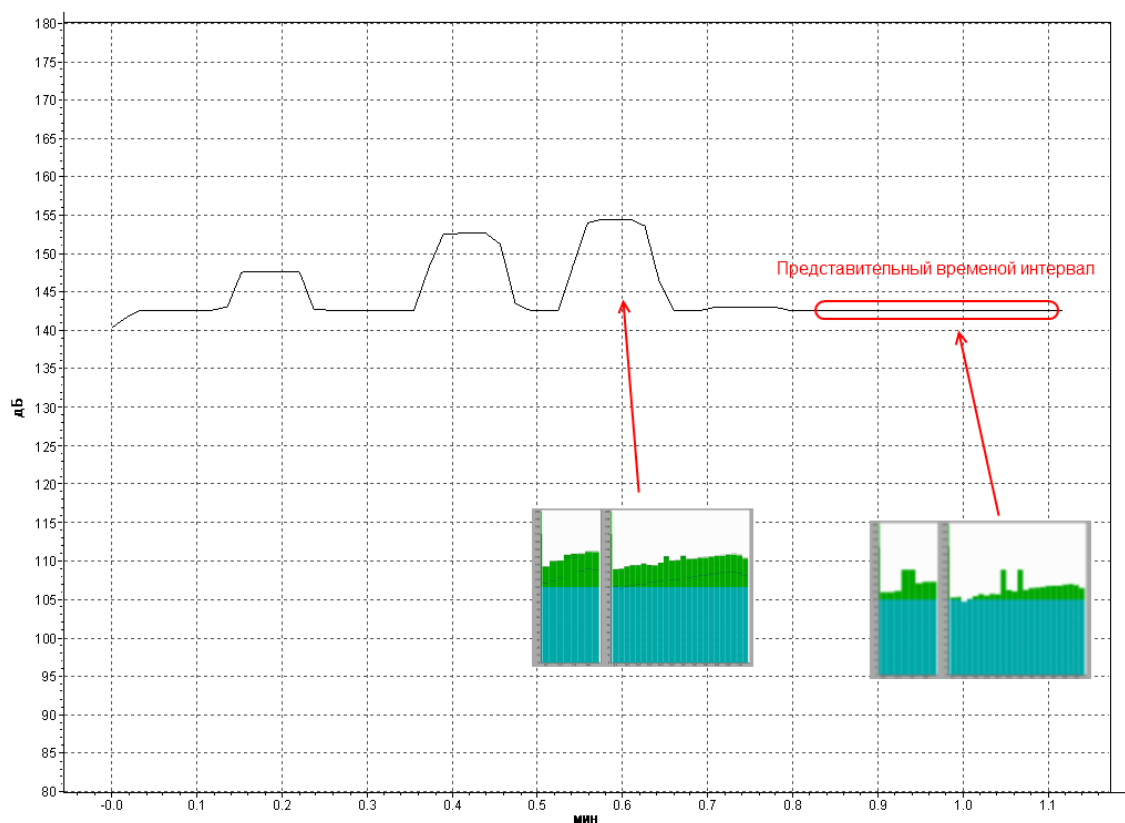


Рис.5. Иллюстрация к применению хронограмм. Усреднение следует проводить за представительный временной интервал вибрационного процесса

9. Приложение 2. Библиография

1. РД ЭО 0410-02. Методические указания по оценке состояния и продлению срока службы силовых трансформаторов
2. ГОСТ 24346-80. Вибрация. Термины и определения
3. ГОСТ Р 8.714-2010 ГСИ. Фильтры полосовые октавные и на доли октавы. Технические требования и методы испытаний
4. ПКДУ.411000.001.02РЭ. Шумомер-виброметр, анализатор спектра Экофизика-110А. Руководство по эксплуатации
5. ПКДУ.411000.001.02ПС. Измеритель акустический многофункциональный Экофизика. Паспорт
6. МВИ МИ ПКФ 12-006. (Приложение к руководству по эксплуатации). Однократные прямые измерения уровней звука, звукового давления и ускорения приборами серий ОКТАВА и ЭКОФИЗИКА
7. Программное обеспечение Signal+/110_Uutilities. Инструкция пользователя