

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Электроснабжение»

Н. В. Грунтович

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

ПРАКТИКУМ

**для студентов специальности 1-43 80 01
«Электроэнергетика и электротехника»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2022

УДК 621.313:621.3.048:681.518.5(075.8)
ББК 31.261.2+31.261.8я73
Г90

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 9 от 25.05.2021 г.)*

Рецензент: зам. начальника службы электросвязи РУП «Гомельэнерго»
канд. техн. наук *С. В. Короткевич*

Грунтович, Н. В.
Г90 Техническая диагностика в электроэнергетике : практикум для студентов специальности 1-43 80 01 «Электроэнергетика и электротехника» днев. и заоч. форм обучения / Н. В. Грунтович. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – 40 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Представлены краткие теоретические сведения и методика выполнения лабораторных работ. Даны рекомендации по правилам сборки испытательных схем на стендах.

Для студентов специальности 1-43 80 01 «Электроэнергетика и электротехника» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.313:621.3.048:681.518.5(075.8)
ББК 31.261.2+31.261.8я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
<i>Лабораторная работа № 1. Многоканальный виброакустический комплекс МСД-2010.....</i>	<i>5</i>
<i>Лабораторная работа № 2. Виброакустический комплекс L Graph.....</i>	<i>16</i>
<i>Лабораторная работа № 3. Универсальный виброизмерительный прибор модели ВУ043 -«Янтарь»</i>	<i>19</i>
<i>Лабораторная работа № 4. Техническое диагностирование высоковольтной изоляции.....</i>	<i>26</i>
Литература.....	38
Приложение 1. Образец титульного листа отчета.....	39
Приложение 2. Точки измерения вибрации подшипников качения, скольжения и магнитной вибрации.....	40

ВВЕДЕНИЕ

На большинстве промышленных предприятий электрические двигатели и силовые маслонаполненные трансформаторы отработали свой нормативный срок, а отдельное оборудование отработало два нормативных срока. В этих условиях с целью продления срока службы и уменьшения числа внезапных отказов оборудования очень важно выполнять ремонт не по регламенту, а по результатам комплексного технического диагностирования. Однако несовершенство теории технической диагностики электрооборудования, невысокая квалификация специалистов предприятий в области технической диагностики, недостаточное количество современных диагностических приборов не позволяет проводить диагностику в сжатые сроки. Кроме того, сдерживающим фактором применения современных методов технического диагностирования на предприятиях является *несовершенство нормативных документов по ремонту электрооборудования*. Отдельные рекомендации по контролю технического состояния электрооборудования это уровень 60-х годов прошлого столетия. В настоящее время в Республике Беларусь применяются следующие методы неразрушающего контроля: виброконтроль (вибродиагностирование проводится на отдельных предприятиях); акустическая эмиссия; различные способы магнитного метода; ультразвуковая дефектоскопия; термография; регистрация частичных разрядов; измерение tg δ изоляции; визуально-оптический метод. Все эти методы и способы должны углубленно изучаться будущими специалистами-энергетиками.

Лабораторная работа № 1

Многоканальный виброакустический комплекс МСД-2010

Цель и задачи работы:

1. Изучить принцип работы многоканального виброакустического комплекса МСД-2010.
2. Получить навыки измерения виброакустических характеристик.
3. Получить навыки анализа спектров вибрации.

Краткие теоретические сведения

Типовые дефекты подшипников качения

Дефекты различают *заводские* и *эксплуатационные*.

К заводским дефектам подшипников качения следует отнести:

- овальность внутреннего кольца;
- неравномерность зазоров между телами качения и кольцами (разные диаметры тел качения);
- повышенная волнистость колец;
- раковины на кольцах и телах качения.

К эксплуатационным дефектам подшипников качения относятся:

- заводские дефекты, которые приводят к интенсивному износу узлов подшипников качения;
- перекос внутреннего кольца;
- перекос наружного кольца;
- трещины на внутреннем кольце;
- износ сепаратора;
- неоднородный радиальный натяг;
- износ тел качения;
- выбоины, задиры;
- наклеп, коррозия;
- загрязнение смазки.

Вычисление частот вибрации подшипников качения

Если принять толщину внутреннего и наружного колец подшипника равными, то радиус внутренней поверхности можно вычислить по следующей формуле

$$R_{\text{вн}} = \frac{d + D}{4} - r_{\text{ш}},$$

где d – диаметр внутреннего кольца;
 D – диаметр наружного кольца.

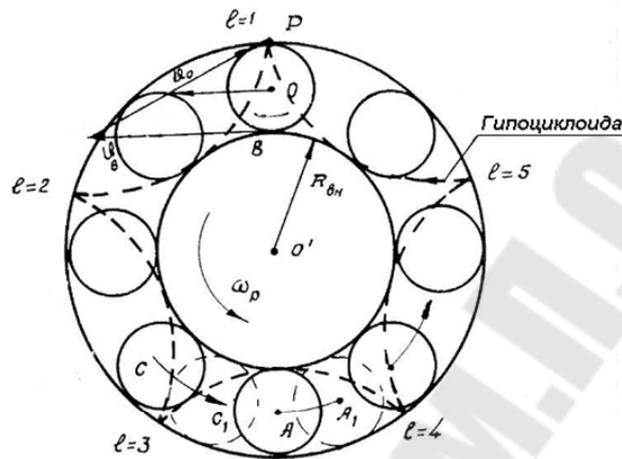


Рис. 1.1. К иллюстрации вычисления частоты вращения сепаратора и опрокидывания вала в подшипнике в неустойчивом состоянии

Вал вращается с угловой скоростью ω_p . Так как шар одновременно катится по неподвижной наружной поверхности, то точка касания P является мгновенным центром скоростей. Используя понятие о мгновенном центре скоростей, определим линейную скорость точки O :

$$v_o = \frac{1}{2} v_p = \frac{\omega_p \cdot R_{\text{вн}}}{2}.$$

Следовательно, угловая скорость центра шара:

$$\Omega = \frac{v_o}{R_{\text{вн}} + r_{\text{ш}}} = \frac{\omega_p \cdot R_{\text{вн}}}{2 \cdot (R_{\text{вн}} + r_{\text{ш}})}.$$

Тогда частота вращения центра шара (сепаратора) определяется по формуле:

$$f_o = \frac{f_p \cdot R_{\text{вн}}}{2(R_{\text{вн}} + r_{\text{ш}})}$$

Так как линейная скорость точки B равна $\omega_p \cdot R_{\text{вн}}$, то угловая скорость шара вокруг собственной оси равна:

$$\omega_{\text{ш}} = \frac{v_p}{2r_{\text{ш}}} = \frac{\omega_p \cdot R_{\text{вн}}}{2r_{\text{ш}}} \quad \text{или} \quad f_{\text{ш}} = \frac{f_p \cdot R_{\text{вн}}}{2r_{\text{ш}}}.$$

С частотой шар вращается не только вокруг собственной оси, но и относительно сепаратора. Следовательно, дефекты шаров, сепаратора, а также недостаточное количество смазки проявляется на частоте.

Относительная частота вращения поверхности шара к поверхности внутреннего кольца определяется выражением

$$f'_{o.ш.в.} = f_{ш} - f_p.$$

Тогда частоты вибрации от взаимодействия дефектов шара и внутреннего кольца находятся по формуле

$$f'_{o.ш.в.} = (f_{ш} - f_p) Z_{ш} \cdot k,$$

где $k = 1, 2$.

Для ЭМ, которые устанавливаются на горизонтальных лапах, кроме рассмотренного частотного спектра вибрации при большом износе подшипников качения, характерна вибрация с частотой опрокидывания вала ротора. В момент, когда центр одного из опорных тел качения совпадает с линией действия веса или статической силы, вал теряет устойчивость.

В конце фазы опрокидывания происходит удар вала по следующему шару, который перекачивается под вал. Частота колебаний вала рассчитывается по формуле:

$$f_{он} = f_o \cdot Z_{ш} = \frac{f_p \cdot R_{ен}}{2 \cdot (R_{ен} + r_{ш})} \cdot Z_{ш}.$$

В том случае, если эти перемещения проходят случайным образом или имеются какие-либо другие дефекты на внешнем кольце, частотный спектр вибрации определяется выражением

$$f_{нк} = f_o \cdot Z_{ш} \cdot k,$$

где $k = 1, 2$.

Относительно внутреннего кольца шары перемещаются с частотой

$$f'_{вк} = f_p - f_o.$$

Тогда дефекты внутреннего кольца проявляются на частоте

$$f_{вк} = f'_{вк} \cdot Z_{ш} \cdot k$$

Пример расчета информативный частот вибрации подшипника качения:

Исходные данные по подшипнику 316 представлены в табл. 1.1

Таблица 1.1

Геометрические параметры подшипника качения

Тип подшипника	d , мм	D , мм	$Z_{ш}$, количество тел качения	$r_{ш}$, мм	$R_{вн}$, мм
316	80	170	8	14,2875	48,2125

В таблице 1.2 приведен расчет информативных частот вибрации.

Таблица 1.2

Расчет информативных частот вибрации подшипника качения

Информативные частоты/ Наименование дефекта	Расчетная формула	Частоты для подшипника 316
Частота вращения ротора	$f_p = \frac{f}{60} = \frac{n}{60}$	$f_p = \frac{3000}{60} = 50 \text{ Гц}$
Частота вращения сепаратора вокруг центра вала; на данной частоте при износе сепаратора амплитуда увеличивается незначительно	$f_o = \frac{f_p \cdot R_{вн}}{2(R_{вн} + r_{ш})}$	$f_o = \frac{50 \cdot 48,213}{2 \cdot (48,2125 + 14,288)} = 19,285 \text{ Гц}$
Частота опрокидывания вала в подшипнике обусловленная разно-размерностью тел качения; на данной частоте вибрация увеличивается при большом износе наружного кольца.	$f_{н.к} = f_o \cdot Z_{ш}$	$f_{н.к} = f_o \cdot Z_{ш} = 19,285 \cdot 8 = 154,28 \text{ Гц}$
Частота перемещения тел относительно внутреннего кольца	$f_{в.к'} = f_p - f_o$	$f_{в.к'} = 50 - 19,285 = 30,715 \text{ Гц}$
Частота вибрации внутреннего кольца обусловленная разно-размерностью тел качения	$f_{в.к} = f_{в.к'} \cdot Z_{ш}$	$f_{в.к} = 30,715 \cdot 8 = 245,72 \text{ Гц}$
На данной частоте вибрация увеличивается при повышенной миро-волнистости и большом количестве раковин	$f_{в.к.к} = f_{в.к} \cdot Z_{ш} \cdot K$ $K = 5 \dots 30$	$f_{в.к.к} = 30,715 \cdot 8 \cdot 5 = 1228,6 \text{ Гц}$
Вибрация тел качения между кольцами обусловлена разно-размерностью тел качения	$f_{ш'} = f_{ш} \cdot Z_{ш}$	$f_{ш'} = 84,36 \cdot 8 = 674,89 \text{ Гц}$
На данной частоте вибрация увеличивается при износе тел качения	$f_{ш.к'} = f_{ш'} \cdot Z_{ш} \cdot K$ $K = 5 \dots 30$	$f_{ш.к'} = 84,36 \cdot 8 \cdot 5 = 3374,45 \text{ Гц}$
Частота перекоса наружного кольца	$f_{п.н.к.} = 2 \cdot f_o \cdot Z_{ш}$	$f_{п.н.к.} = 2 \cdot 19,285 \cdot 8 = 308,56 \text{ Гц}$

Осуществим перевод виброскорости в виброускорение и считаем предельное значение вибрации:

Таблица 1.3

Расчет информативных частот вибрации подшипника качения

Перевод виброскорости 6 мм/с (предельное значение) в виброускорение (м/с ² ; Дб)				
Ускорение а, м/с ²	$a_r=2 \cdot \pi \cdot f \cdot v \cdot 10^{-3}$	0,942		
Виброускорение в дБ		3140		
	$L=20 \cdot \lg(a_r/a_0)$	69,9	Предельное значение вибрации	

В условиях эксплуатации магнитные вибрации могут возрасти вследствие изменения параметров асинхронной машины либо питающей сети. Изменение параметров машины может повлечь за собой расширение амплитудного и частотного спектров вибровозмущающих магнитных сил или ослабление динамической жесткости конструкции двигателя как колебательной системы, приводящие к усилению вибрации.

Эксплуатационными причинами ухудшения виброшумовых характеристик АД из-за возникновения дополнительных магнитных сил могут явиться:

1 Магнитная несимметрия возникает вследствие:

неподвижного эксцентриситета ротора в расточке статора, приводящего к возникновению неподвижной неравномерности воздушного зазора;

вращающегося эксцентриситета ротора вследствие прогиба вала или эллипсности "бочки" ротора, приводящих к вращающейся неравномерности воздушного зазора;

вращающегося эксцентриситета ротора машин с угловой частотой процессии при увеличении радиальных зазоров в подшипниках.

2 Электрическая несимметрия фаз АД возникает вследствие:

- неравенства переходных сопротивлений подводящих контактов фаз;
- неравномерности воздушного зазора при эксцентриситетах, влияющей на величину реактивного сопротивления фаз;
- межвиткового замыкания в фазной обмотке или между фазами;
- неправильного включения фазы (вывернутая фаза);
- обрыва фаз, обрыва стержней клетки ротора;
- нелинейности сопротивления фаз при наличии последовательно включённых нелинейных элементов (диодов, тиристоров и т.п.).

3 Причинами несимметрии трёхфазной системы напряжения являются:

- неисправности в синхронном генераторе, приводящих к несимметрии фазных напряжений;
- неравномерная загрузка фаз генератора при наличии однофазных или несимметричных трёхфазных потребителей;
- неисправности в силовой схеме статических преобразовательных устройств (разброса характеристик силовых элементов, например, тиристоров) СПУ, нарушения настройки блоков управления.

4 Насыщение магнитной цепи АД при увеличении отношения $\frac{U}{f}$ вследствие неточной настройки регуляторов напряжения и частоты.

5 Ухудшение качества электроэнергии, выражающееся в искажении синусоидальной формы кривой напряжения и тока.

Многофункциональный сборщик данных МСД-2010 предназначен для аналого-цифрового преобразования выходных сигналов датчиков, которых представляют собой электрический заряд, напряжение или ток, временного сохранения полученных данных в буферном ОЗУ и передачи их в ПЭВМ для дальнейшей обработки.

МСД работает под управлением ПЭВМ и может использоваться как отдельно, так и в составе измерительно-информационной системы при экспериментальном исследовании протекания различных процессов или контроле технического состояния различных машин и механизмов, а также промышленного оборудования.

МСД предназначен для работы в следующих условиях:

температура воздуха, °С от +5 до +45

относительная влажность воздуха, %,

при температуре +25°С, не более 80

атмосферное давление, мм рт. ст. 760 ± 40.



Рис. 1.2. Общий вид прибора МСД-2010

По требованиям к электробезопасности МСД удовлетворяет классу защиты 01 в соответствии с ГОСТ 12.2.007-75.

МСД не является самостоятельным устройством и может работать только под управлением ПЭВМ, выполняя команды (запросы), поступающие от нее по интерфейсу RS-232.

Программа MSD10.exe, работающая в операционной среде Windows XP или Windows 7, предназначена для реализации на основе графического интерфейса интерактивного режима работы пользователя с прибором МСД-2010 и обеспечивает:

- 1) начальную настройку его режима работы;
- 2) проверку работоспособности каналов ввода данных МСД с помощью встроенного генератора контрольного сигнала;
- 3) опрос выбранных датчиков, сохранение его результатов в ОЗУ МСД и их оперативное отображение на экране дисплея ПК;
- 4) сохранение указанных реализаций сигналов в виде файлов на накопителе на жестком магнитном диске, дополненных информацией, требующейся для последующего анализа и протоколирования результатов измерения.

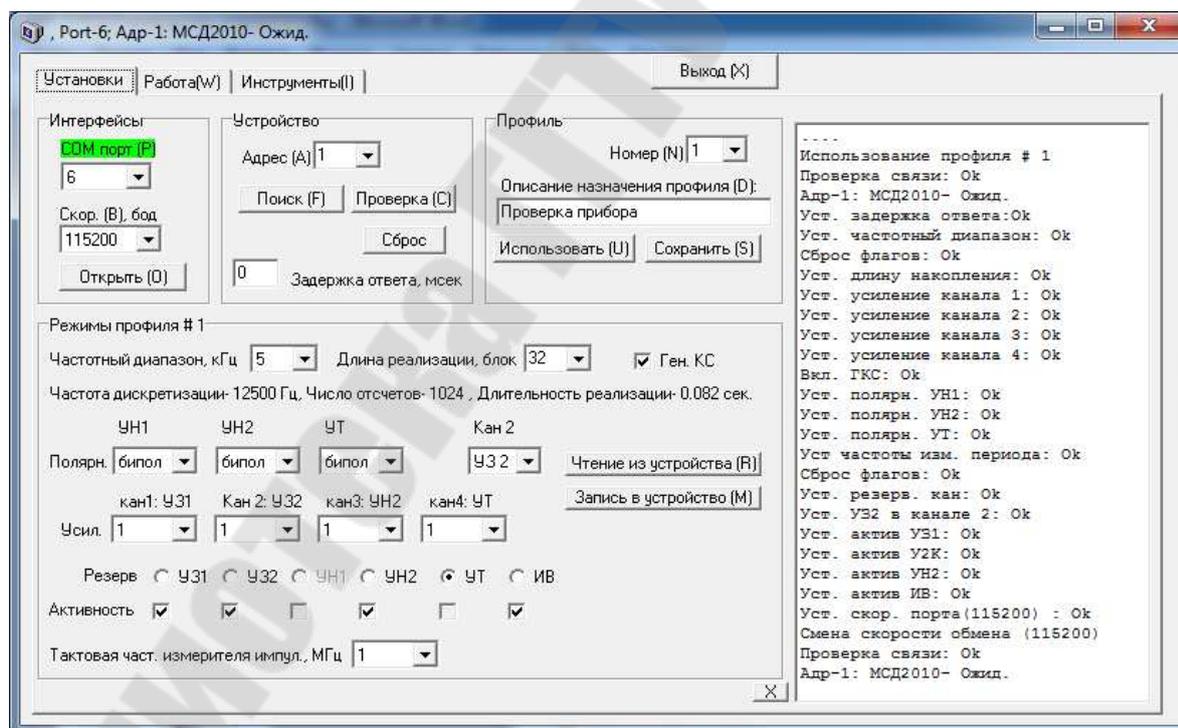


Рис. 1.3. Общий вид программы МСД2010

Программа PMS-ASD.exe предназначена для реализации на основе графического интерфейса интерактивного режима работы пользователя с ПМС и обеспечивает:

- 1) проверку работоспособности ее каналов ввода данных с помощью встроенного генератора контрольного сигнала;
- 2) программную тарировку чувствительности входных усилителей для получения результатов измерения в физических единицах;
- 3) ввод сигналов с выбранных каналов в ОЗУ портативного компьютера, их оперативное отображение на экране дисплея и, при необходимости, сохранение в виде файлов на НЖМД, дополненной информацией, требующейся для последующего протоколирования результатов измерения;
- 4) цифровую обработку введенных сигналов по выбранным алгоритмам;
- 5) вывод результатов обработки на экран дисплея.

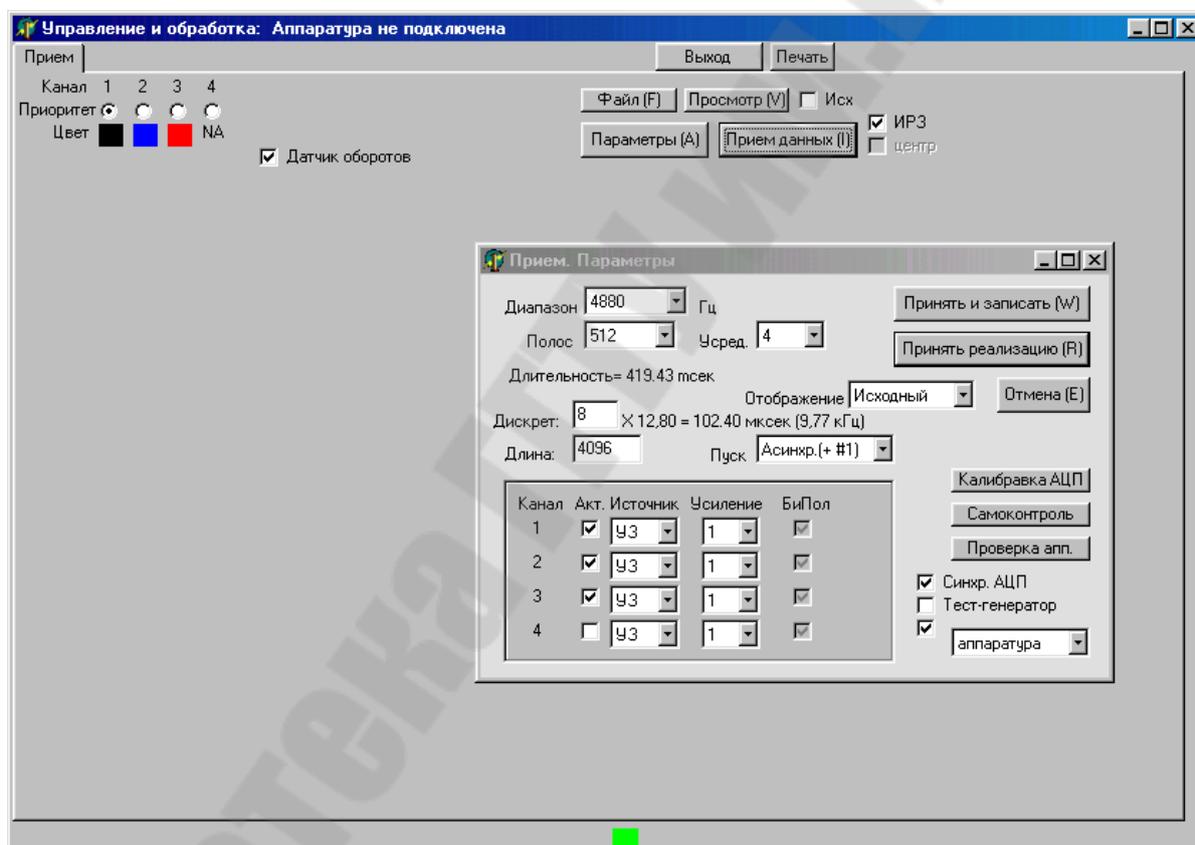


Рис. 1.4. Общий вид программы PMS-ASD.exe

Программа PMS-ASD.exe позволяет выполнить следующие виды обработки результатов:

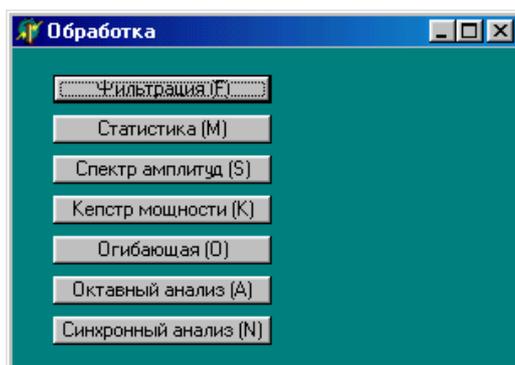


Рис. 1.5. Виды выполняемой обработки программой PMS-ASD.exe

Практическая часть

Произвести снятие виброданных по следующему алгоритму:

1. Подключить прибор к сети и к компьютеру соответствующими проводами
2. Подключить датчик на канал У32
3. Включить прибор
4. Открыть на компьютере программу Msd10(должно быть написано ожидание в верхней строке, если не подключено, то закрыть программу и проверить подключение прибора)
5. Перейти в раздел “Работа” и установить датчик на место, где необходимо произвести снятие данные
6. Нажать “Пуск” накопления и дождаться окончания снятия данных
7. Нажать (<>)
8. Выбрать место для сохранения файла в строке “Имя (N)”(снизу белая строка, нажать дважды)
9. Рабочий стол- Папка «лр» - Имя файла (ввести название файла) - нажать Открыть
10. Нажать запись в файл
11. Закрыть программу
12. Открыть программу PmsAsd
13. Выбрать файл необходимый для обработки (Файл – Загрузить - Рабочий стол - Папка «лр» - Выбрать нужный файл - Открыть)
14. Нажать “Обработка” и выбрать “Спектр амплитуд”
15. Полученный спектр амплитуд можно увеличить (выделить окном слева на право) или уменьшить (справа на лево)
16. Полученный файл сохраняем (Файл-Сохранить)

(*) Для того, чтобы сравнить для спектра амплитуд в программе PmsAsd необходимо:

- после пункта 14 полученный спектр нужно запомнить (нажать “Запомнить”)
- вернуться в раздел “Прием” и повторить пункты 13-14
- в результате будут получены два спектра вместе

Сделать соответствующие выводы о пригодности к использованию.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Результаты работы в виде виброизмерений.
4. Выводы.

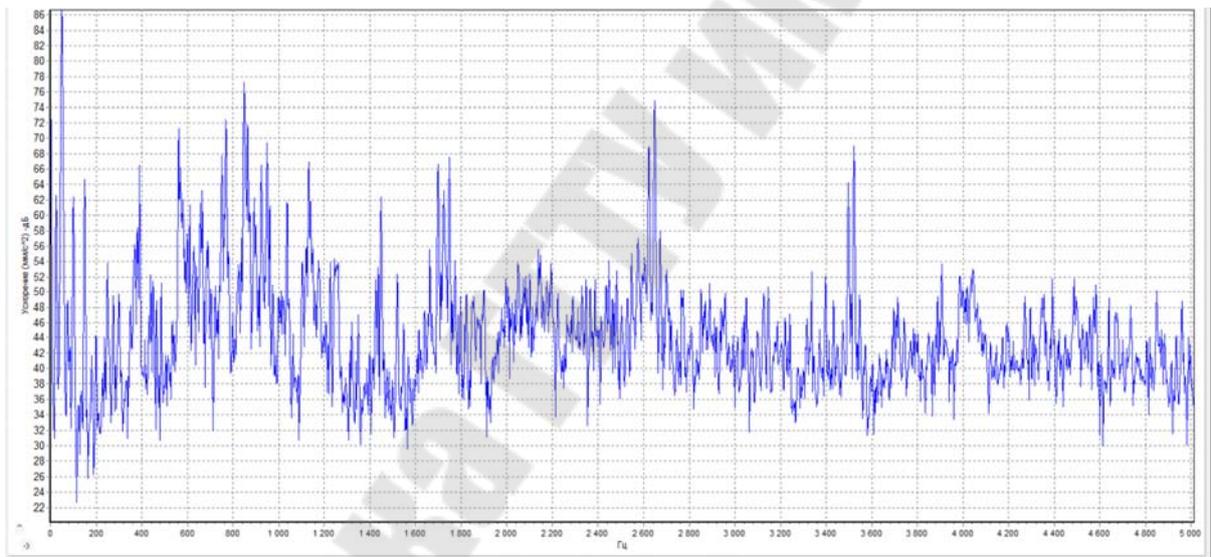


Рис. 1.6. Пример спектра вибрации

4. Выводы по полученным результатам (расчет информативных частот подшипников 307 и 308).

Контрольные вопросы

1. Причины вибрации подшипников качения?
2. В каких областях техники метод вибрационного контроля оборудования приносит наибольший эффект?
3. К чему приводит воздействие вибрации в роторных машинах?
4. В каких единицах принято измерять виброускорение?

5. В каких единицах принято измерять виброскорость?
6. Назовите причину опрокидывания вала в подшипниках качения.
7. На какой частоте увеличивается вибрация при неравномерности зазора между ротором и статором?
8. На какой частоте увеличивается вибрация при обрыве фазы статора?
9. На какой частоте увеличивается вибрация при обрыве стержня ротора?
10. На какой частоте увеличивается вибрация при разноразмерности тел качения?
11. На какой частоте увеличивается вибрация при осевой магнитной несимметрии?
12. В каком частотном диапазоне можно анализировать дефекты асинхронных двигателей при помощи прибора MSD-2010?

Лабораторная работа № 2

Виброакустический комплекс LGraph

Цель и задачи работы:

1. Изучить принцип работы многоканального виброакустического комплекса **L Graph**.
2. Получить навыки измерения виброакустических характеристик.
3. Получить навыки анализа спектров вибрации.

Краткие теоретические сведения

Программно-технический комплекс многоканального сбора данных вибрационного контроля для компьютерной диагностики технического состояния узлов и механизмов предназначен для приема и первичной обработки аналоговых сигналов от датчиков вибрации, устанавливаемых на диагностируемом оборудовании. Данные, подготовленные в цифровых форматах программно-техническими средствами комплекса, могут быть использованы экспертной системой технической диагностики.

Назначение программы – сбор, визуализация (просмотр в реальном времени и в записи), регистрация (сохранение в цифровом виде) и экспорт аналоговых сигналов, поданных на входы различных устройств сбора данных производства ООО «Л Кард». Одновременно может быть задействовано несколько устройств, подключенных как непосредственно к компьютеру, так и через сеть по протоколу TCP/IP.



Рис. 2.1. Внешний вид системы LGraph (слева), справа – система MSD-2010

Программа LGraph2 может производить сбор данных одновременно от 100 различных устройств производства ООО «Л Кард». Для каждого устройства АЦП может обеспечиваться ввод данных до 16 каналов в режиме дифференциального подключения или до 32 каналов при подключении «с общей землей» в зависимости от характеристик устройства.

Практическая часть

Произвести снятие виброданных по следующему алгоритму:

1. Включить ПЭВМ.
2. Соединить прибор по USB с ПЭВМ и подключить к прибору датчик на канал 1.

3. Перевести тумблер на приборе в верхнее положение. Загорится синяя лампочка, означающая подачу питания, и красная, означающая подключение драйвера.

4. Открыть программу LGraph2.

Прописать путь сохранения файла данных в выпадающем окне: Файл/Настройка имени файла/Изменить директорию/Выбрать куда сохранять/Написать название файла. (Рабочий стол- Папка «лр»- Имя файла (ввести название файла)- нажать Открыть). Здесь же установить автоинкремент имени файла (Добавлять, начиная с “0000”).

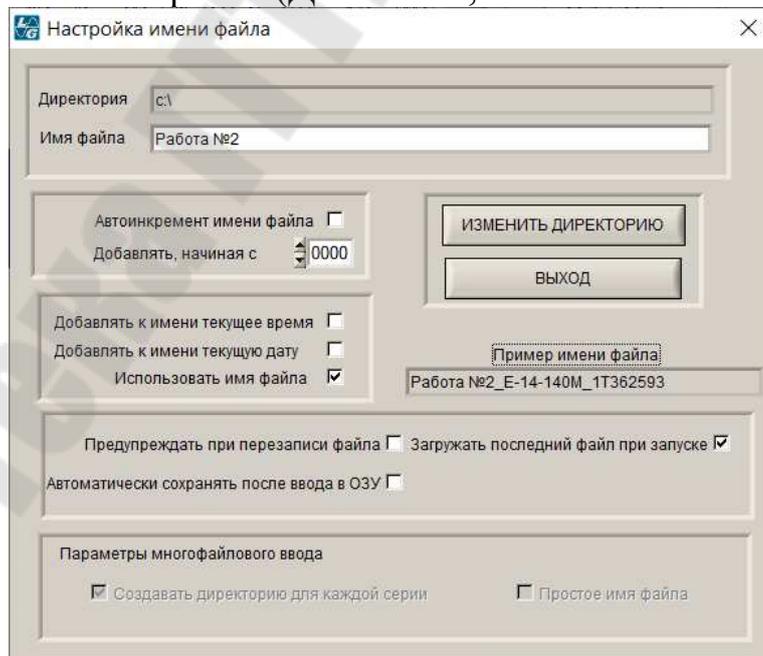


Рис. 2.2. Окно настройки имени файла

5. Нажать «ВЫХОД».
6. Нажимаем внизу на кнопку «ЗАПИСЬ».

7. Переходим на вкладку плагина (справа). Правая клавиша мыши позволяет установить масштаб в выпадающем контекстном меню.

Сделать соответствующие выводы о пригодности к использованию.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Результаты работы в виде виброизмерений.
4. Выводы по полученным результатам.

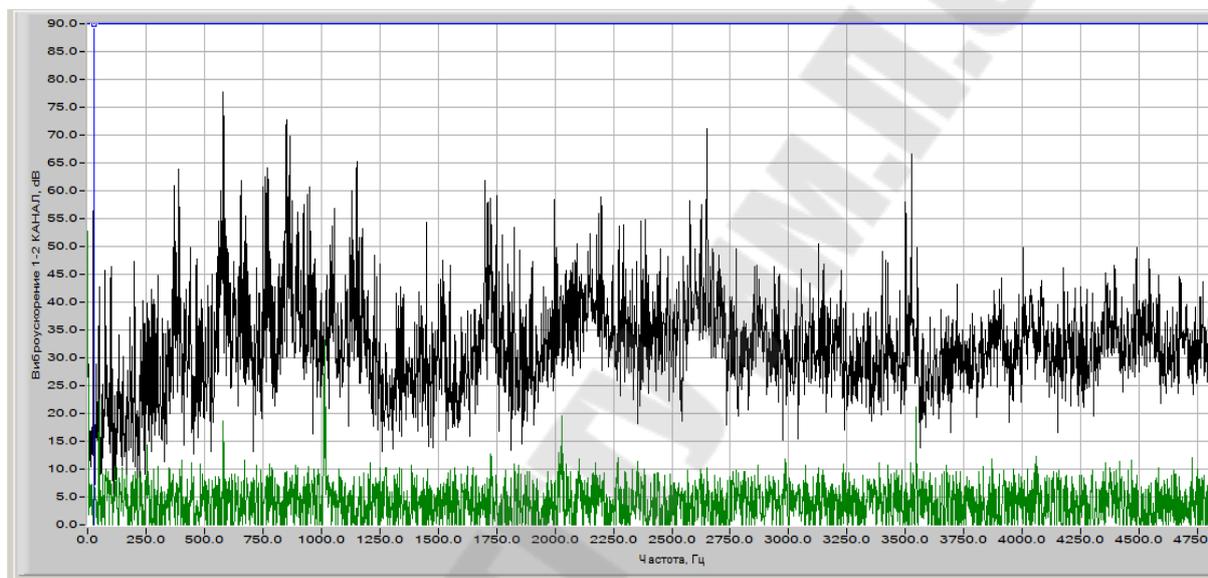


Рис. 2.3. Пример спектра вибрации

Контрольные вопросы

1. В каких единицах принято измерять частоту вибрации?
2. В чем заключается динамический принцип измерения вибрации?
3. Как рассчитываются информативные частоты подшипников качения?
4. Чем отличается программа записи вибросигнала в программе MSD-2010 и LGraph2?
5. Чем отличается программа обработки вибросигнала в программе MSD-2010 и LGraph2?
6. Какие вибродатчики используются в приборах MSD-2010 и LGraph2?

Лабораторная работа № 3 Универсальный виброизмерительный прибор модели ВУ043 -«Янтарь»

Цель и задачи работы:

1. Ознакомление с назначением, конструктивным исполнением и принципом действия универсального виброизмерительного прибора модели ВУ043 -«Янтарь».
2. Получить навыки измерения прибором Янтарь.

Краткие теоретические сведения

Универсальный виброизмерительный прибор модели ВУ043 - «Янтарь» (далее – прибор) представляет собой автономный портативный измеритель параметров вибрации, предназначенный для контроля, мониторинга и вибрационной диагностики технического состояния промышленного оборудования.

Прибор позволяет производить измерения общего уровня виброскорости, виброускорения и виброперемещения в стандартных и установленных пользователем частотных диапазонах с заданным временем усреднений, а также производить сравнение полученных данных с установленными нормами.

Прибор позволяет проводить экспресс-диагностику подшипников качения: выявлять дефекты монтажа, контролировать износ и определять наличие зарождающихся дефектов подшипников.



Рис. 3.1. Внешний вид прибора Янтарь

Практическая часть

После включения прибора, на дисплее появляется основное меню.



Рис. 3.2. Окно основного меню

Измерения – проведение измерений параметров вибрации.

Скорость – измерение виброскорости (мм/с) в заданном частотном диапазоне.

Смещение – измерение виброперемещения (мкм) в заданном частотном диапазоне.

Ускорение – измерение виброускорения (м/с^2) в заданном частотном диапазоне.

Стетоскоп – включение режима стетоскопа.

Диаг. подшип. – экспресс-диагностика подшипников качения.

Настройки – настройки параметров измерений.

Скорость – настройки частотного диапазона (Гц) и выбор представления единиц измерения для измерения виброскорости (скз, пик, пик-пик).

Смещение – настройки частотного диапазона (Гц) и выбор представления единиц измерения для измерения виброперемещения (скз, пик, пик-пик).

Ускорение – настройки частотного диапазона (Гц) и выбор представления единиц измерения для измерения виброускорения (скз, пик, пик-пик).

Установки

Усреднение – установка времени усреднений при проведении измерений (сек) Выключение – установка времени отключения «забытого» прибора» (мин).

Датчик – установка коэффициента преобразования вибропреобразователя (мВ/м/с^2).

Калибровка – настройка измерительного тракта.

Нормирование – установка функции оценки величины уровня вибрации (вкл./выкл.).

Критерии – установка пороговых значений нормируемых величин.

Скорость – по виброскорости (мм/с).

Смещение – по виброперемещению (мкм).

Ускорение – по виброускорению (м/с²).

Для сохранения всех изменений необходимо выйти в основное меню!

После настройки всех необходимых параметров и установки вибропреобразователя в измерительную точку, можно приступить непосредственно к проведению измерений. Для этого через меню «Измерения» необходимо выбрать измеряемый параметр (скорость, смещение, ускорение или стетоскоп) и нажать клавишу ВВОД. Прибор произведет необходимое число усреднений, после чего выведет на дисплей усредненное значение измеряемого параметра. Во время измерения на дисплее отображается уровень входного сигнала с вибропреобразователя, измеряемый параметр, представление единиц измерения, единицы измерения. По окончании измерения, на дисплей, в зависимости от измеренного уровня выводится соответствующий диагностический критерий («Норма», «Вним.!»), «Авария!»). Для повторного измерения того же параметра необходимо снова нажать клавишу ВВОД.



Рис. 3.3. Пример измеренных результатов

Функция экспресс-диагностики позволяет определить наличие зарождающихся дефектов элементов подшипников, а также дефектов монтажа и износа подшипников.



Рис. 3.4. Функция экспресс-диагностики

Переход в режим диагностики подшипников осуществляется через меню «Измерения» - «Диаг. подшип.» клавишами \uparrow \downarrow . При соблюдении рекомендаций по проведению измерений, можно добиться максимальной достоверности полученных результатов.

Область применения и ограничения методики:

1. Методика может быть применена для диагностики радиальных и радиально-упорных шариковых подшипников качения легких и средних серий диаметров.

2. Посадочный диаметр подшипника находится в диапазоне 20 – 200мм

3. Контроль состояния подшипников может осуществляться на агрегатах, в которых ротор опирается на одиночные подшипники качения, в конструкции отсутствуют зубчатые передачи.

4. Диагностика может быть проведена при номинальной нагрузке и режиме работы.

5. При работе агрегата отсутствуют ударные импульсы.

6. Частотный диапазон работы агрегата составляет от 378 об/мин до 6000 об/мин.

7. Имеется возможность установки датчика на магнит или шпильку максимально близко к нагруженной зоне подшипникового узла.

Для проведения экспресс-диагностики подшипников необходима установка только одного параметра – оборотной частоты вращения агрегата. Частоты выбираются дискретно в соответствующем поле клавишами \uparrow \downarrow .

Допустимые значения оборотной частоты: 378 об/мин (6,3 Гц), 750 об/мин (12,5 Гц), 1500 Об/мин (25 Гц), 3000 об/мин (50 Гц), 6000 об/мин (100 Гц). При проведении диагностики агрегатов с отличными от предложенных частотами вращения, рекомендуется выбирать ближайшие из допустимых.

В зависимости от этапа эксплуатации, на котором находится контролируемый подшипник, необходимо сделать выбор корректного типа замера подшипника. Для новых, только что установленных подшипников нужно контролировать дефекты монтажа, для подшипников, эксплуатируемых продолжительное время, контролируют дефекты износа и наличие дефектов элементов подшипников. Выбор типа дефектов оказывает влияние на анализ и трактовку вибрации подшипника, а, следовательно, и на получаемые диагностические выводы.

Оценка дефектов элементов подшипника

В процессе эксплуатации на элементах подшипника (внутреннее кольцо, внешнее кольцо, сепаратор, тела качения) могут появиться механические дефекты: раковины, трещины, сколы. Для проведения диагностики зарождающихся дефектов элементов подшипника, необходимо в поле «Дефект» клавишами   выбрать тип дефекта – «Зарожд.», выбрать обратную частоту вращения текущего режима работы агрегата, установить селектор в поле «Старт» и нажать ВВОД. Прибор произведет ряд необходимых замеров, состояние выполнения которых отображается на индикаторе.



На основании анализа данных на дисплей выводится результат диагностики.

«Зарождающиеся дефекты отсутствуют» - дефекты не обнаружены, допустима дальнейшая эксплуатация агрегата.

«Зарождающиеся дефекты возможны» - обнаружены незначительные дефекты элементов подшипника, при которых возможна дальнейшая эксплуатация агрегата. При этом периодичность обследований должна быть увеличена.

«Значительные одиночные дефекты» - обнаружены дефекты элементов подшипника, при которых дальнейшая эксплуатация агрегата недопустима. Требуется проведение дополнительных измерений

для уточнения диагноза и при подтверждении - останов агрегата для замены неисправного подшипника.

Оценка дефектов износа

При больших наработках подшипника рекомендуется проводить контроль дефектов износа. Поскольку процесс разрушения подшипника носит лавинообразный характер, при обнаружении дефектов износа имеет смысл проводить контроль состояния подшипника как можно чаще.

Для проведения диагностики дефектов износа подшипника, необходимо в поле «Дефект» клавишами выбрать тип дефекта – «износ», выбрать оборотную частоту вращения текущего режима работы агрегата, установить селектор в поле «Старт» и нажать ВВОД. Прибор произведет ряд необходимых замеров, состояние выполнения которых отображается на индикаторе.



На основании анализа данных на дисплей выводится результат диагностики.

«Эксплуатация допустима» - износ поверхностей качения незначителен, допустима дальнейшая эксплуатация агрегата.

«Износ поверхностей качения» - обнаружен износ поверхностей качения подшипника, при котором возможна дальнейшая эксплуатация агрегата. При этом периодичность обследований должна быть увеличена. f

«Эксплуатация недопустима» - износ поверхностей качения подшипника таков, что дальнейшая эксплуатация агрегата недопустима. Требуется проведение дополнительных измерений для уточнения диагноза и при подтверждении - останов агрегата для замены неисправного подшипника.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Результаты работы в виде виброизмерений.

Таблица 3.1

Форма представления полученных результатов

n, об/мин	S, мкм	V, мм/с	a, м/с ²
1490			

Формулы пересчета:

$$a = 2\pi f \cdot v \cdot 10^{-3}, \text{ при } f_1 = 25 \text{ Гц, } f_2 = 50 \text{ Гц.}$$

Контрольные вопросы

1. Достоинства и недостатки прибора «Янтарь»?
2. Какая достоверность выявления дефектов данным прибором?
3. В каком частотном диапазоне измеряется вибрация?
4. В каких единицах измеряется вибрация прибором «Янтарь»?
5. Выполняется ли частотный анализ вибрации прибором «Янтарь»?
6. По каким параметрам определяется уровень износа подшипников качения прибором «Янтарь»?
7. Можно ли прибором «Янтарь» выявить конкретны дефект подшипника качения?

Лабораторная работа №4

Техническое диагностирование изоляции

Цель и задачи работы:

1. Ознакомление с методами профилактических испытаний и приборами для испытаний изоляции высоковольтного трансформатора (мост переменного тока Р-5026, прибора контроля влажности ПКВ-7, прибор для измерения сопротивления изоляции МІС-2500).
2. Получить навыки измерения приборами.

Краткие теоретические сведения

Определение тангенса угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg}\delta$)

Величина $\operatorname{tg}\delta$, определяющая диэлектрические потери в изоляции на переменном напряжении, является одной из самых распространенных характеристик, значение которой используется как для оценки качества электроизоляционного материала, так и для оценки состояния изоляционного изделия. Для реально используемых изоляционных конструкций величина $\operatorname{tg}\delta$ в большинстве случаев позволяет сделать вывод о причинах ухудшения изоляции из-за ее общего увлажнения или загрязнения.

При приложении к изоляции напряжения по ветвям $C - R$ и R_1 протекает абсорбционный ток и ток сквозной проводимости, вызывающие разогрев изоляции. Энергия, затрачиваемая на нагрев, получила название диэлектрических потерь. Полный ток I , протекающий через изоляцию, сдвинут по отношению к напряжению на угол φ и раскладывается на активную I_a и реактивную I_c составляющие (рис. 4).

Тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ представляет собой отношение активной составляющей тока к реактивной составляющей

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_c}.$$

Мощность потерь энергии в изоляции равна

$$P = U \cdot I_a = U \cdot I_c \cdot \operatorname{tg}\delta.$$

Появление в изоляции дефекта вызывает уменьшение его сопротивления и, следовательно, увеличение активного тока, реактивный ток (I_c) при этом почти не изменяется. Это вызовет увеличение $\operatorname{tg}\delta$ (рис. 4.1).

Поскольку диэлектрические потери в изоляции зависят от геометрических размеров, то принято измерять не сами потери, а тангенс угла диэлектрических потерь, т. к. $\operatorname{tg} \delta$ – это характеристика материала, не зависящая от размеров объекта, и ее можно измерить непосредственно прибором. При этом $\operatorname{tg} \delta$ выражается в относительных единицах или в процентах.

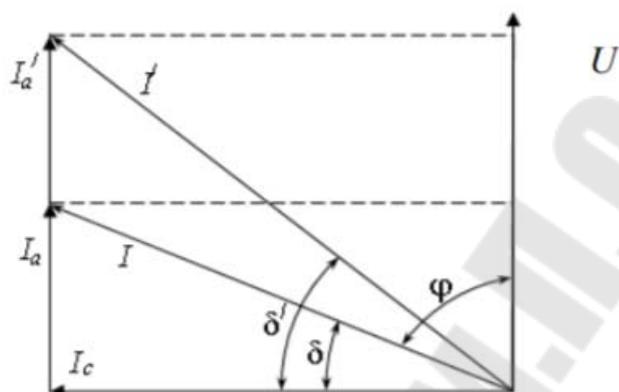


Рис. 4.1. Векторная диаграмма токов через диэлектрик с потерями

Для измерения $\operatorname{tg} \delta$ применяются мосты переменного тока типа МД- 16, Р-507, Р-521, Р-595, Р-5026 и др. Диэлектрические потери в изоляции обмоток трансформатора измеряют между каждой обмоткой и корпусом при заземленных свободных обмотках. Измеренные диэлектрические потери составляют сумму диэлектрических потерь твердой изоляции и масла.



Рис. 4.2. Внешний вид моста типа Р-5026

На рис. 4.3 представлена принципиальная электрическая схема измерения $\text{tg}\delta$ изоляции обмоток трансформатора при помощи моста переменного тока высокого напряжения. После подачи напряжения на схему измерения потенциометрами верхнего ряда и нижнего ряда, необходимо стрелку гальванометра (рисунок 4.2) свести к нулю. В условиях помех это достаточно сложно. После того, когда стрелка гальванометра будет близка к нулю, снимаются показания потенциометров нижнего и верхнего ряда. Числовые значения потенциометров нижнего ряда это $\text{tg}\delta$,

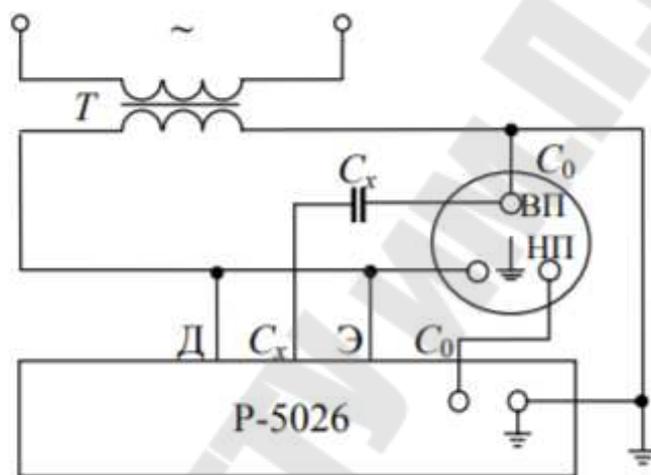


Рис. 4.3. Схема моста для определения тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$): C_0 – эталонный конденсатор; C_x – диагностируемая изоляция объекта; Т – высоковольтный трансформатор; Д, C_x , Э, C_0 – кабели для подсоединений; Р-5026 – мост переменного тока; ВП, НП – высокопотенциальный и низкопотенциальный выходы

После подачи напряжения на схему измерения, потенциометрами верхнего и нижнего ряда (рис. 4.2) необходимо стрелку гальванометра свести к нулю. В условиях заводских помех это достаточно сложно. После того, когда стрелка гальванометра будет близка к нулю, снимаются показания с потенциометров нижнего ряда, это - $\text{tg}\delta$, а с верхнего ряда – емкость геометрическая (С). По полученным значениям приложенного напряжения к объекту и по значениям $\text{tg}\delta$ строятся графики (рис. 4.9). Однако для повышения достоверности при определении степени старения изоляции рекомендуется применять комплексный метод: строится график $\text{tg}\delta/U$ в зависимости от коэффициента микропористости (рис. 4.10). Линия пробоя получена

экспериментально. Поэтому, чем ближе полученная точка к линии пробоя, тем больше износ высоковольтной изоляции.

Определение относительной влажности изоляции

Увлажненность изоляции исследуют путем измерения емкости обмоток на двух частотах при неизменной температуре 10–20 °С (метод «емкость – частота»).

Емкость объекта при неизменных температуре и частоте приложенного напряжения есть величина постоянная. При увеличении частоты емкость уменьшается. Эта зависимость является следствием процессов медленной поляризации.

При переменном напряжении процесс накопления зарядов ограничен длительностью одного полупериода напряжения. Чем выше частота, тем в меньшей степени успевают развиваться процессы поляризации, тем меньше емкость. Появление больших по объему и хорошо проводящих включений, шунтирование или пробой изоляции увеличивают разность емкостей при низких и высоких частотах.

Большое влияние на зависимость емкости от частоты оказывает увлажненность изоляции. Чем больше увлажнена изоляция, тем быстрее протекают процессы поляризации, тем больше емкость изоляции. Изменение емкости для увлажненной изоляции с ростом частоты носит крутопадающий характер (рис. 4.4).

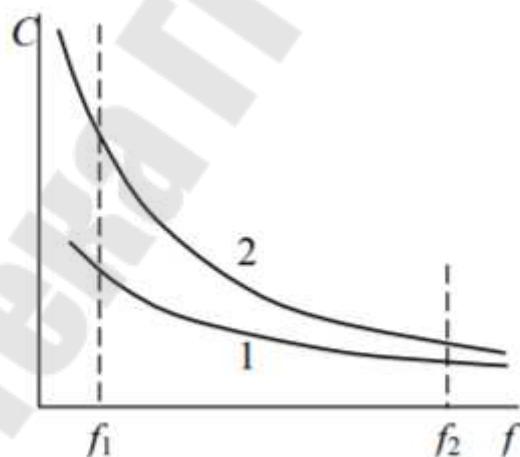


Рис. 4.4. Зависимость емкости изоляции от частоты:
1 – сухая изоляция; 2 – увлажненная изоляция

В сухой изоляции поляризация протекает медленнее, длительность процессов больше полупериода приложенного напряжения.

Поэтому у сухой изоляции емкость меньше, чем у влажной во всем диапазоне частот, а характер изменения ее от частоты носит более плавный характер (рис. 6, кривая 1).

Указанные дефекты приводят к тому, что отношение емкостей увлажненной изоляции при двух разных частотах существенно больше, чем у сухой изоляции, на чем и основан принцип оценки степени увлажненности изоляции.

ГОСТом предусмотрено проведение измерений при двух частотах: 2 Гц и 50 Гц.

Для волокнистых органических материалов степень увлажнения является недопустимой (опасной), если отношение величин емкости изоляции при вышеуказанных частотах $K_m \geq 1,2-1,3$. С помощью переключателя П образец C_x периодически подключается к источнику постоянного напряжения U_0 (C_x заряжается), а затем к цепи с гальванометром Г (C_x разряжается).

Измерение емкости производят при помощи приборов контроля влажности типа ПКВ-13, ПКВ-7.

Для измерения ΔC : тумблер 1 становится в положение C_2-C_{50} , второй тумблер в положение ЕВ.

Для измерения геометрической емкости: тумблер 1 становится в положение C_{50} , второй тумблер в положение ПКВ.

Далее вычисляется коэффициент микропористости:



Рис. 4.5. Внешний вид прибора ПКВ-7

Прибор для измерения сопротивления изоляции MIC-2500 (1000)

Величину сопротивления изоляции измеряют мегомметром. Измерение производят непрерывно в течение времени не менее 60 секунд. При этом отсчет показаний мегомметра выполняют через 15 сек. и через 60 сек. после начала измерения. О качестве изоляции судят по двум показателям R_{60} , которое соответствует сквозному сопротивлению утечки R_y и показателю $K_{абс} = R_{60} / R_{15}$, называемому коэффициентом абсорбции. Современными на сегодня являются цифровые мегомметры, например, тип MIC-2500. Они кроме R_{60} и $K_{абс}$ способны измерять еще коэффициент поляризации $K_{пол} = R_{600} / R_{60}$.

Измеритель сопротивления, увлажненности и степени старения электроизоляции MIC-2500 представляет собой портативный электрический цифровой измерительный прибор, предназначенный для измерения сопротивления, увлажненности и степени старения электроизоляции кабельных линий, трансформаторов, двигателей и других электротехнических устройств и телекоммуникационных установок. Прибор позволяют также измерять ток утечки через изоляцию, напряжения постоянного и переменного тока и малые сопротивления. Измерительное напряжение на выходе преобразователя высокого напряжения до 2500 В (MIC-2500). На рис. 4.6 представлен внешний вид прибора MIC-2500 и его основные клавиши.

До начала измерений сопротивления изоляции следует задать необходимое значение напряжения измерений. Для этого нужно нажать клавишу **8** (U_{ISO}). В основном поле дисплея **17** высвечивается последнее заданное значение напряжения. Повторное нажатие (с промежутком до 3-х секунд) клавиши **8** (U_{ISO}) вызывает переход на ближайшее, большее от заданного, значение напряжения. Последующие нажатия вызывают переход на очередные значения напряжения в ряде: **100 В**→**250 В**→**500 В**→**1000 В**→**2500 В**→**100 В**. Если нужное значение напряжения отличается от заранее заданного нужно:

- выбрать одно из заранее заданных значений напряжения;
- выбрать требуемое значение напряжения, увеличивая или уменьшая его с помощью клавиш **11** или **12**;

Подтверждение (ввод в память задания) происходит автоматически спустя 3 секунды после последнего нажатия клавиш **8,11** или **12**. Об этом сигнализируют три коротких звуковых сигнала, после чего прибор переходит в режим измерения сопротивления. После запуска измерений сопротивления изоляции с помощью клавиши **6** START значения напряжения измерений высвечивается в дополнительном поле **18** дисплея.

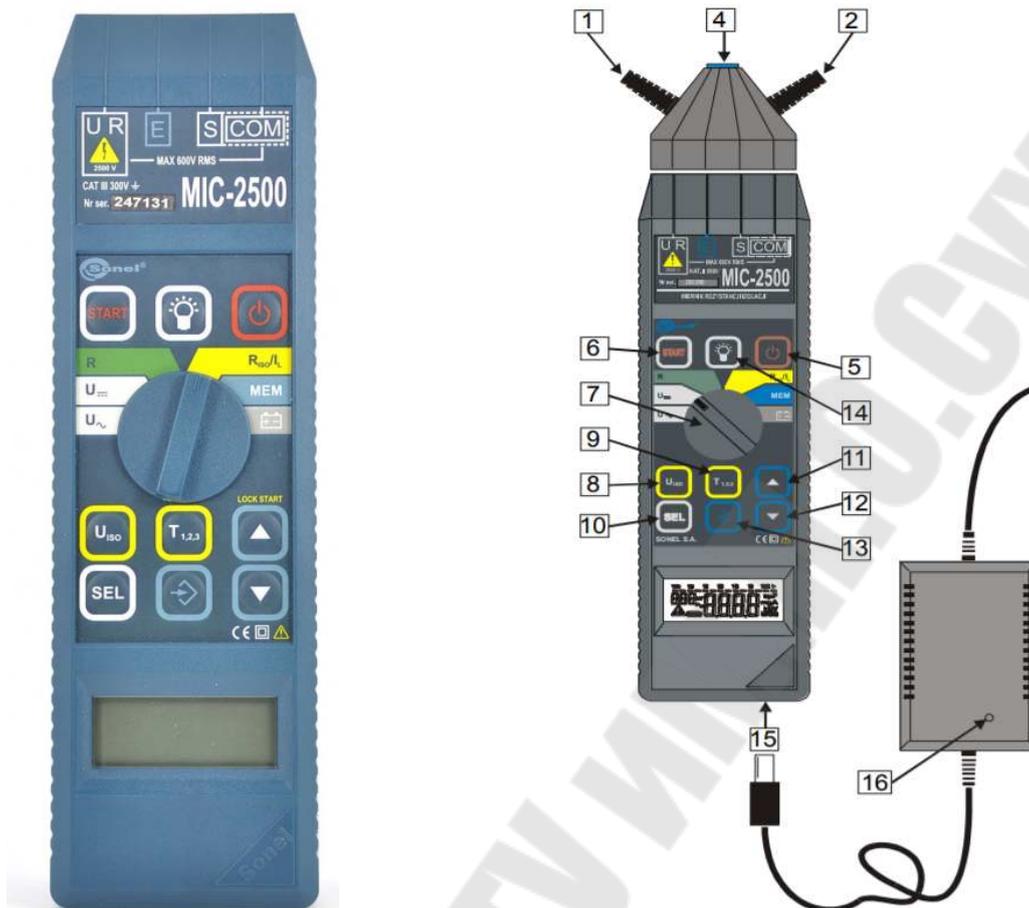


Рис. 4.6. Внешний вид прибора MIC-2500 и его основные клавиши:

1-измерительный провод U R. Выход преобразователя высокого напряжения для измерений сопротивления изоляции (функция R_{ISO}/I_L). Измерительный вход для измерений напряжений постоянного и переменного тока, а также для измерений сопротивления при низком напряжении; **2**-измерительный провод COM для любых измерений; **4**-гнездо замера E. Гнездо для подключения дополнительного провода при осуществлении измерений сопротивления изоляции методом тройного зажима; **15** -гнездо для подключения внешнего устройства питания зарядки аккумуляторов; **16**-светодиод LED сигнализирует подключение к сети устройства питания зарядки аккумуляторов; **5** - клавиша включение и отключение питания прибора; **6**-клавиша START; **7**-поворотный переключатель функций **8**-клавиша U_{ISO} выбор одного из четырех (пяти- для MIC-2500) заданных значений напряжения измерения; **9**-клавиша $T_{1,2,3}$ выбор и подтверждение времени T_1 , T_2 и T_3 ; **10** клавиша SEL. Для функции измерений R_{ISO}/I_L отображение тока утечки во время измерений сопротивления изоляции или отображение результатов измерений сопротивления, коэффициентов абсорбции и поляризации, последнего заданного напряжения измерений в порядке $R_{T3} \rightarrow R_{T2} \rightarrow R_{T1} \rightarrow Ab1 \rightarrow Ab2 \rightarrow U_{ISO} \rightarrow RT3...$ и т.д. Для функции MEM: высвечивание результатов измерений сопротивления, коэффициентов абсорбции и поляризации, напряжения замеров в вышеуказанном порядке; **11**-клавиша «Увеличить»; **12** - клавиша «Уменьшить»; **13**-клавиша «Ввод в память». После окончания измерений: запуск режима ввода данных в память; в режиме ввода данных в память – ввод результатов измерений в данную ячейку. **14**- клавиша «Подсветка». Включение и выключение подсветки дисплея.

Контроль изоляции по интенсивности частичных разрядов

Для обнаружения ЧР и измерения их интенсивности разработано несколько методов, основанных на регистрации различных внешних проявлений ЧР.

Каждый единичный ЧР с кажущимся зарядом q вызывает скачкообразное (за время $10^{-7} \dots 10^{-8}$ с) изменение напряжения на испытуемой изоляции на величину

$$\Delta u = q/C_x,$$

где C_x — емкость испытуемой изоляции. Вследствие этого в контуре высокого напряжения возникает переходный процесс и на измерительном элементе, т.е. на входе измерительной части установки, появляется импульс напряжения с амплитудой

$$\Delta u_{ax} = \frac{q}{C_x + C_c + \frac{C_x C_n}{C_c}},$$

где C_c — емкость конденсатора связи; C_n — паразитная емкость входных цепей измерительной части установки.

Если в качестве измерительного элемента используется резистор R_i , то импульс напряжения от ЧР на входе измерительной части получается апериодическим, с широким спектром частот. Для усиления таких сигналов используются широкополосные усилители с полосами пропускания от 10...30 кГц до 1...2 МГц. Если же элементом Z_i служит катушка индуктивности L_i , то сигнал имеет форму затухающих колебаний. Его энергия сосредоточена в относительно узкой полосе частот. В этом случае применяют узкополосные усилители с полосой пропускания 8...10 кГц и частотой настройки от 20 кГц до 2 МГц. В обоих случаях коэффициент усиления — до 106 с.

В установках с широкополосными усилителями импульсы напряжения от ЧР получаются очень короткими, поэтому сигналы от следующих друг за другом разрядов не налагаются один на другой, их можно четко различить и подсчитать с помощью счетчика импульсов. Однако в этом случае из-за широкой полосы пропускания усилителя на регистрирующие приборы проходят значительные шумы, мешающие измерениям.

В установках с узкополосными усилителями уровень шумов при прочих равных условиях значительно ниже; чувствительность таких установок существенно выше. Однако сигналы от отдельных ЧР получаются достаточно длительными, налагаются друг на друга, поэтому точное измерение числа разрядов в единицу времени невозможно.

Установки с узкополосными усилителями используют при высоком уровне внешних шумов и, как правило, только для обнаружения или измерения напряжения появления ЧР. В настоящее время в Республике Беларусь используются два прибора для измерения частичных разрядов высоковольтной изоляции: акустический регистратор российского производства АР-700 (ОАО «Белэнергоремналадка») и зонд частичных разрядов М4202 фирмы «Siemens» (ГГТУ им. П. О. Сухого).

Прибор М4202 позволяет регистрировать частичные разряды в силовых трансформаторах и высоковольтных электрических двигателях контактным способом (рисунок 4.7) и безконтактным способом для регистрации частичных разрядов в высоковольтных вводах и кабельных линиях 3-10 кВ (рисунок 4.8). При регистрации частичных разрядов в высоковольтной изоляции прибором М4202 по показаниям стрелочного прибора и по положению переключателей по специальной таблице определяется уровень частичных разрядов в пКл. На рисунках 4.7, 4.8 представлены возможные способы измерения частичных разрядов прибором М4202.



Рис. 4.7. Измерение уровня частичных разрядов контактным способом



Рис. 4.8. Измерение уровня частичных разрядов бесконтактным способом

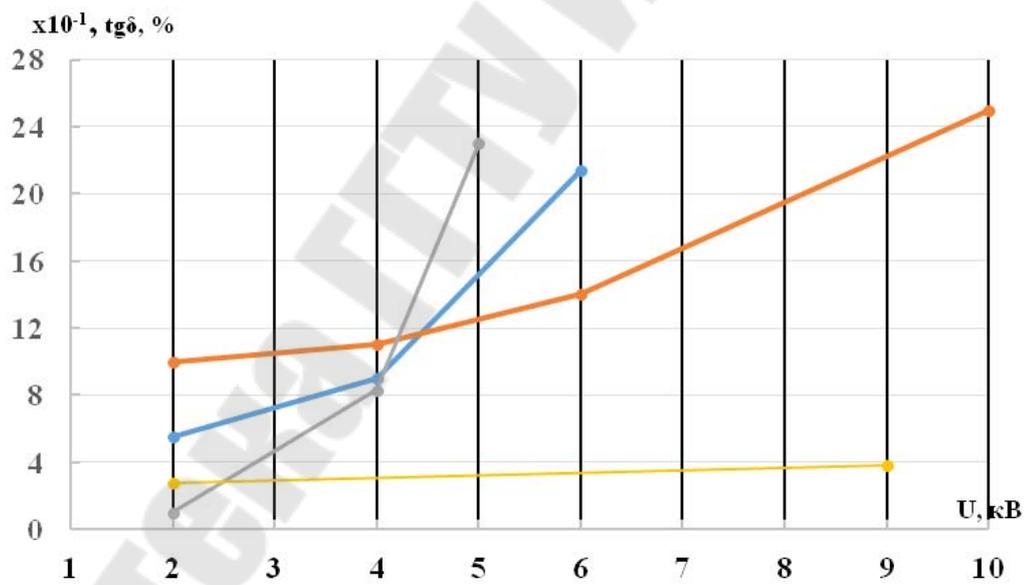


Рис. 4.9. Изменение tgδ от уровня приложенного напряжения

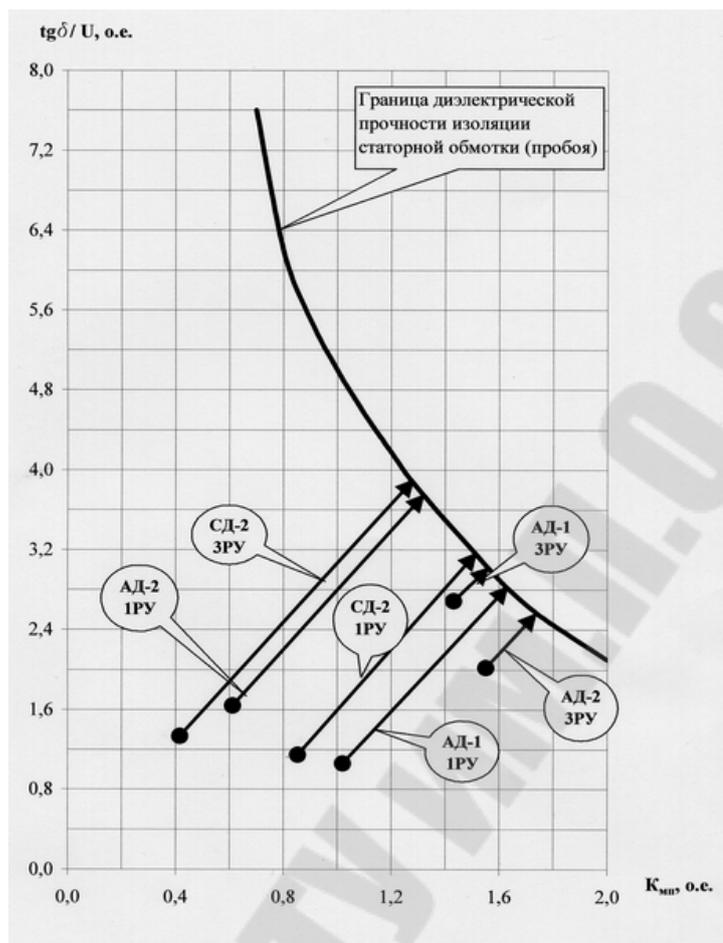


Рис. 4.10. Оценка степени старения высоковольтной изоляции по комплексу параметров

Порядок выполнения работы

1. Определить увлажненность изоляции методом «емкость – частота» прибором контроля влажности ПКВ-7.
2. Определить тангенс угла диэлектрических потерь прибором Р-5026.
3. Измерить сопротивление изоляции МІС-2500.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Результаты виброизмерений.
3. Выводы по полученным результатам.

Контрольные вопросы

1. Какое влияние могут оказать воздушные включения на сопротивление и $\text{tg}\delta$ изоляции?
2. Как изменится $\text{tg}\delta$ при увлажнении изоляции? Дать объяснения.
3. Объяснить увеличение емкости изоляции при ее увлажнении.
4. С какой целью производится испытание изоляции электрооборудования высоким напряжением?
5. Как измеряется ΔC и C_{50} прибором ПКВ-7?
6. Почему коэффициент микропористости K_m вычисляется как $\Delta C/C_{50}$?
7. Какой параметр характеризует в первую очередь степень старения изоляции?
8. Сформулируйте последовательность измерения поляризации прибором МІС-2500.
9. Назовите десять причин возникновения частичных разрядов в масляном трансформаторе.
10. Могут ли повредить бумажную изоляцию частичные разряды?
11. Могут ли вызвать электрическую дугу частичные разряды в масляном трансформаторе?

ЛИТЕРАТУРА

1. Технические средства диагностирования : справочник / В. В. Ключев[и др.] ; под общ. ред. В. В. Ключева. – М. : Машиностроение, 1989. – 672 с.
2. Грунтович, Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учеб. пособие. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2017 г. – 271 с. (Высшее образование: Бакалавриат).
3. Биргер, И. А. Техническая диагностика. Изд. 2-е – М. : ЛЕНАНД, 2019.—240 с.
4. Михеев, Г. М. Цифровая диагностика высоковольтного электрооборудования. – М. : Издательский дом Додэка-XXI, 2008. – 304 с.
5. Сви, П. М. Измерение частичных разрядов в изоляции оборудования высокого напряжения энергосистем. – М. : Энергия, 1977. – 200 с.
6. Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Выпуск 23. - Санкт-Петербург. ПЭИПК, 2004. - 132 с.
7. Разработка методики магнитопорошкового контроля. Методические указания. МГТУ. Могилев, 2001. – 18 с.
8. Шейкин, А. А. Технология оценки состояния изоляционных конструкций высоковольтных установок : учеб. пособие / А. А. Шейкин, А. И. Таджибеев, Ю. А. Омельченко. – Санкт-Петербург : ПЭИПК, 2000. – 74 с.
9. Бажанов, С. А. Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств. Выпуск 4061. – М. : НТФ "Энергопрогресс", 2000. – 76 с.
10. Степанчук, К. В. Контроль и диагностика изоляции машин и аппаратов : учеб. пособие. – Минск : БНТУ, 1995. – 72 с.
11. Дубов, А. А. Методические указания по техническому диагностированию сосудов и аппаратов с использованием метода магнитной памяти металла / А. А. Дубов, С. М. Колокольников. – М. : ООО "Энергодиагностика", 2000. – 30 с.
12. Неразрушающий контроль: Справочник: Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Ф. Я. Балицкий, А.В. Барков, Н. А. Баркова и др. Вибродиагностика, - М. : Машиностроение, 2005 - 829 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

Энергетический факультет
Кафедра «Электроснабжение»

ОТЧЁТ

по лабораторной работе №

на тему «_____»

Выполнил студент группы Э-41
(ФИО студента)

Руководитель
(должность, ФИО руководителя)

Дата защиты _____

20 _____

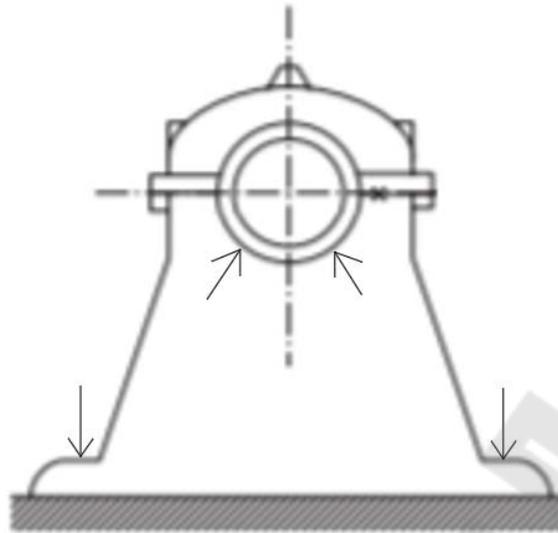


Рисунок П.1 – Точки измерения вибрации на подшипнике качения

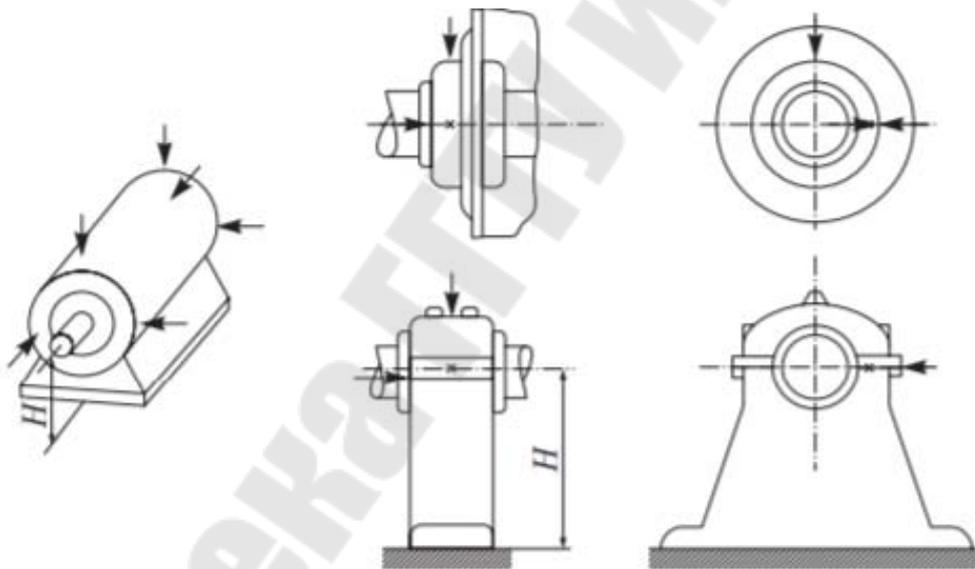


Рисунок П.2 – Точки измерения магнитной вибрации и вибрации подшипника скольжения

Грунтович Николай Васильевич

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

**Практикум
для студентов специальности 1-43 80 01
«Электроэнергетика и электротехника»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 04.11.22.

Рег. № 69Е.

<http://www.gstu.by>