

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет
им. П.О. Сухого»

Энергетический факультет

Кафедра «Электроснабжение»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к расчетно-графической работе

на тему: «Выявление дефектов асинхронных двигателей и маслонаполненных трансформаторов по результатам технического диагностирования»

по курсу: «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования»

Выполнил студент группы ЭН-51
Белый С.В

Принял: профессор, д.т.н
Грунтович Н.В.

Гомель 2021

СОДЕРЖАНИЕ

№п/п	Наименование раздела	Страница
	Введение	
1	ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	
	1.1 Анализ вибрации подшипников качения асинхронного двигателя	
	1.2 Анализ магнитной вибрации асинхронных двигателей	
	1.3. Анализ технического состояния изоляции статорной обмотки асинхронного двигателя	
	1.4. Составление дефектной ведомости и оценка материально-технического обеспечения для выполнения ремонта асинхронного двигателя	
2	ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ТРАНСФОРМАТОРА	
	2.1. Анализ результатов физико-химического испытания трансформаторного масла	
	2.2. Анализ результатов хроматографического контроля растворенных газов в трансформаторном масле	
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
	Список используемых источников	

ВВЕДЕНИЕ

Целью системы технической диагностики любого оборудования, в том числе электрических машин и трансформаторов, является определение фактического технического состояния оборудования для организации его правильной эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, а также выявление возможных неисправностей на раннем этапе их развития. Все виды затрат на функционирование системы технической диагностики должны быть минимизированы.

Срок службы электрических машин составляет 30-40 лет у 80% предприятий. Замена парка электропривода идет медленно. Даже в процессе модернизации ставят частотные преобразователи на работающий (изношенный электропривод). В настоящее время отказы подшипников качения по своему количеству превышают пробой изоляции.

Как показывает статистика, очень высокая вероятность низкое качество подшипников качения, которые поступают с подшипниковых заводов. В этом случае срок службы подшипника качения меньше 500 часов вместо 50000-60000 часов. Частые выходы из строя подшипников качения сопровождаются внеплановыми остановками энергетического и технологического оборудования, что приводит к значительным экономическим потерям. Как показывает опыт, диагностический мониторинг обеспечивает безотказность и долговечность оборудования. Диагностировать оборудование необходимо перед ремонтом и после ремонта, а также отдельные узлы. Например, большой эффект дает диагностирование подшипника качения перед установкой на механизм.

Для этого имеются специальные стенды и компьютерные диагностические программы. Проведение комплексного диагностирования асинхронных двигателей и маслонаполненных трансформаторов позволит отказаться от ремонта согласно регламенту, а проводить ремонт по результатам технического диагностирования.

Это обеспечит высокую надежность оборудования и позволит сэкономить значительные финансовые средства.

Целью курсового проекта является получение практических навыков диагностирования технического состояния электрических машин и трансформаторов.

В соответствии с поставленной целью в курсовом проекте выполнен анализ показателей магнитной вибрации двух подшипников качения асинхронного двигателя, анализ магнитной вибрации двигателя, технического состояния статорной обмотки асинхронного двигателя. Составлена дефектная ведомость для выполнения ремонта асинхронного двигателя. Для силового трансформатора произведен анализ физико-химического испытания трансформаторного масла, выполнен анализ и установлены дефекты по хроматографическому контролю растворенных газов в трансформаторном масле. Изучено современное оборудование для диагностирования электрических машин и трансформаторов.

1 ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

1.1 Анализ вибрации подшипников качения асинхронного двигателя

Типовые дефекты подшипников качения

Дефекты различают *заводские и эксплуатационные* [1].

К заводским дефектам подшипников качения следует отнести:

- **некруглость тел качения;**
- овальность внутреннего кольца;
- трехвыпуклость 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;
- загрязнение смазки.
- выбоины;
- наклеп;
- электрокоррозия;
- коррозия
- задиры

Вычисление частот вибрации подшипников качения

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

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

где: d – диаметр внутреннего кольца;

D – диаметр наружного кольца.

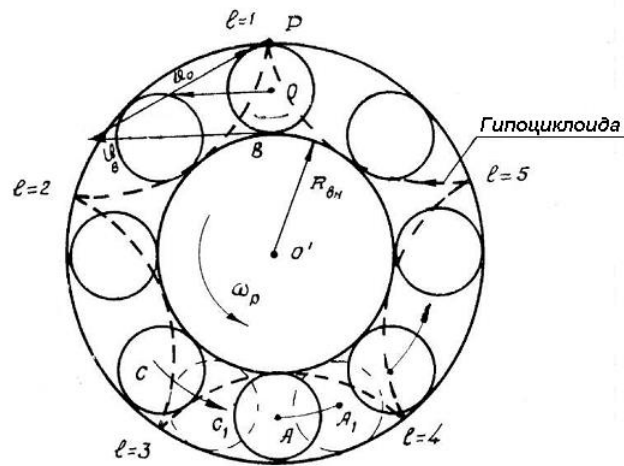


Рис.1 - К иллюстрации вычисления частоты вращения сепаратора и опрокидывания вала в подшипнике в неустойчивом состоянии

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

$$v_o = \frac{1}{2} v_{\epsilon} = \frac{\omega_p \cdot R_{\text{вн}}}{2}$$

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 В равна $\omega_p \cdot R_{\text{вн}}$, то угловая скорость шара вокруг собственной оси равна:

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

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:

$$f'_{\text{о.ш.в.}} = f_{\text{ш}} - f_p$$

Тогда частоты вибрации от взаимодействия дефектов шара и внутреннего кольца

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

где $k = 1, 2, \dots, 50$

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:

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

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 $k = 1, 2, \dots, 50$

Относительно внутреннего кольца шары перемещаются с частотой

$$f'_{вк} = f_p - f_o$$

Тогда дефекты внутреннего кольца проявляются на частоте

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

Исходные данные по подшипнику П1 АД1 представлены в таблице 1.1.1

Таблица 1.1.1 – Исходные данные по подшипнику качения согласно варианта задания

Вариант	Тип подшипника	d, мм	D, мм	Zш, количество тел качения	rш, мм	Rвн, мм
АД2	304	20	52	7	4,76	13,24

В таблице 1.1.2 приведен расчет информативных частот вибрации.

Информативные частоты вибрации подшипников качения		
Наименование дефекта	Расчетная формула	Тип подшипника Частота вращения ротора, Гц (по варианту)
Частота вращения ротора	$f_p = f/60$	25
Частота вращения сепаратора вокруг центра вала; на данной частоте при износе сепаратора амплитуда увеличивается незначительно	$f_0 = f_p \cdot R_{вн} / 2 \cdot (R_{вн} + r_{ш})$	9,194
Частота опрокидывания вала в подшипнике обусловленная разномерностью тел качения; на данной частоте вибрация увеличивается при большем износе наружного кольца	$f_{н.к} = f_0 \cdot Z_{ш}$	64,35
Частота перемещения тел относительно внутреннего кольца	$f_{в.к}' = f_p - f_0$	15,8

Частота вибрации внутреннего кольца обусловленная разномерностью тел качения	$f_{в.к.} = f_{в.к'} \cdot Z_{III}$	110,642
На данной частоте вибрация увеличивается при повышенной микроволнистости и большом количестве раковин	$f_{в.к.к} = f_{в.к'} \cdot Z_{III} \cdot K$ $K = 5 \dots 30$	647,48...388 4,88
Вибрация тел качения между кольцами обусловленная разномерностью тел качения	$f_{III}' = f_{III} \cdot Z_{III}$ $f_{III} = f_p \cdot R_{вн}/2 \cdot r_{III}$	243,38 34,769
На данном участке вибрация увеличивается при износе тел качения	$f_{III.к'} = f_{III} \cdot Z_{III} \cdot K$ $K = 5 \dots 30$	1194,92 69,52
Частота перекоса наружного кольца	$f_{п.н.к.}' = 2 \cdot f_0 \cdot Z_{III}$	128,71

Таблица 1.1.2 - Расчет информативных частот вибрации подшипника качения

Осуществим перевод виброскорости в виброускорение и рассчитаем предельное значение вибрации:

Перевод виброскорости 6 мм/с (предельное значение) в виброускорение (м/с ² ;Дб)					
Ускорение а, м/с ²	$a_T = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot v \cdot 10^{-3}$	0,942			
Виброускорение в дБ		3140			
	$L = 20 \cdot \lg(a_T/a_0)$	69,94	Предельное значение вибрации		

Построим зависимость амплитуд вибрации от соответствующих им частот:

Х, вибрация, Гц	У, амплитуда, Дб
25	55
50	60
64	70
232	63

На рисунке 1.1.1 представлены полученные спектры вибрации подшипника качения №304 и предельное значение вибрации.

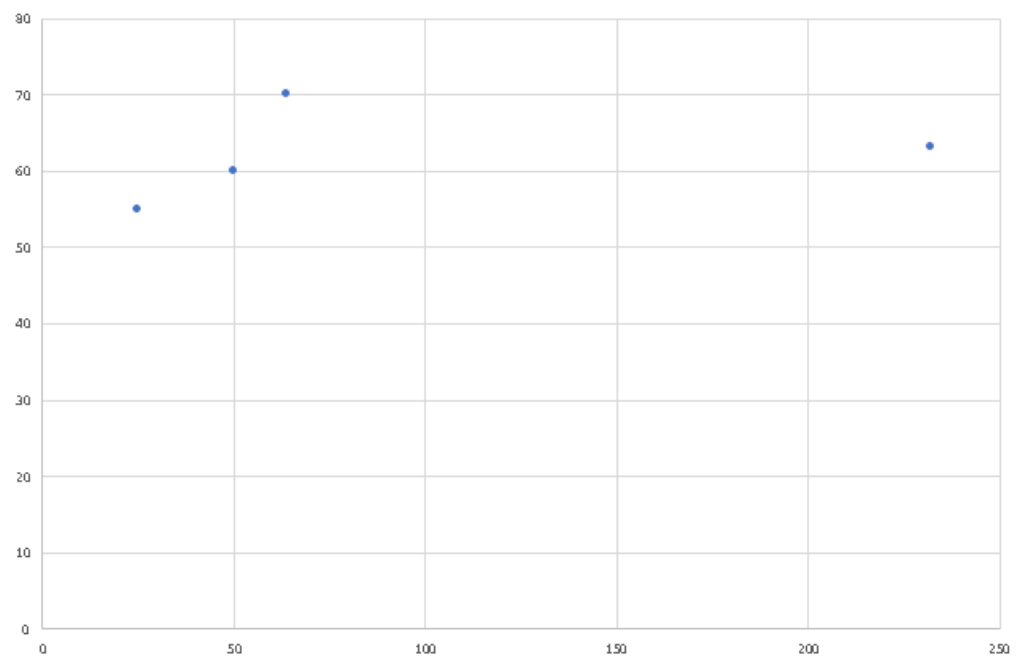


Рисунок 1.1.1 – Иллюстрация дискретных частот вибрации ПК при различных дефектах

Анализ спектров вибрации показал следующее:

Частота опрокидывания вала в подшипнике обусловленная разномерностью тел качения;

Вариант	Тип подшипника	d, мм	D, мм	Zш, количество тел качения	rш, мм	Rвн, мм
АД2	304	20	52	7	4,76	13,24

В таблице 1.1.2 приведен расчет информативных частот вибрации.

Информативные частоты вибрации подшипников качения		
Наименование дефекта	Расчетная формула	Тип подшипника
		Частота вращения ротора, Гц (по варианту)
Частота вращения ротора	$f_p = f/60$	25
Частота вращения сепаратора вокруг центра вала; на данной частоте при износе сепаратора амплитуда увеличивается незначительно	$f_0 = f_p \cdot R_{вн} / 2 \cdot (R_{вн} + r_{ш})$	9,194
Частота опрокидывания вала в подшипнике обусловленная разномерностью тел качения; на данной частоте вибрация увеличивается при большем износе наружного кольца	$f_{н.к} = f_0 \cdot Z_{ш}$	64,358
Частота перемещения тел относительно внутреннего кольца	$f_{в.к}' = f_p - f_0$	15,806
Частота вибрации внутреннего кольца обусловленная разномерностью тел качения	$f_{в.к.} = f_{в.к}' \cdot Z_{ш}$	110,642
На данной частоте вибрация увеличивается при повышенной микроволнистости и большом количестве раковин	$f_{в.к.к} = f_{в.к.}' \cdot Z_{ш} \cdot K$ $K = 5 \dots 30$	559,72 8,32
Вибрация тел качения между кольцами обусловленная разномерностью тел качения	$f_{ш}' = f_{ш} \cdot Z_{ш}$ $f_{ш} = f_p \cdot R_{вн} / 2 \cdot r_{ш}$	243,383 34,769
На данном участке вибрация увеличивается при износе тел качения	$f_{ш.к}' = f_{ш}' \cdot Z_{ш} \cdot K$ $K = 5 \dots 30$	1128,58 71,45
Частота перекоса наружного кольца	$f_{п.н.к.}' = 2 \cdot f_0 \cdot Z_{ш}$	128,716

Таблица 1.1.2 - Расчет информативных частот вибрации подшипника качения

Осуществим перевод виброскорости в виброускорение и рассчитаем предельное значение вибрации:

Перевод виброскорости 6 мм/с (предельное значение) в виброускорение (м/с ² ;Дб)					
Ускорение а, м/с ²	$a_T = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot v \cdot 10^{-3}$	0,942			
Виброускорение в Дб		3140			
	$L = 20 \cdot \lg(a_T/a_0)$	69,94	Предельное значение вибрации		

Таблица 1.1.3 – Данные амплитуд вибрации и соответствующие им частоты подшипника П2

Х, вибрация, Гц	У, амплитуда, Дб
25	55
64	68
16	55
110	65

На рисунке 1.1.2 представлены полученные спектры вибрации подшипника качения №304 и предельное значение вибрации.

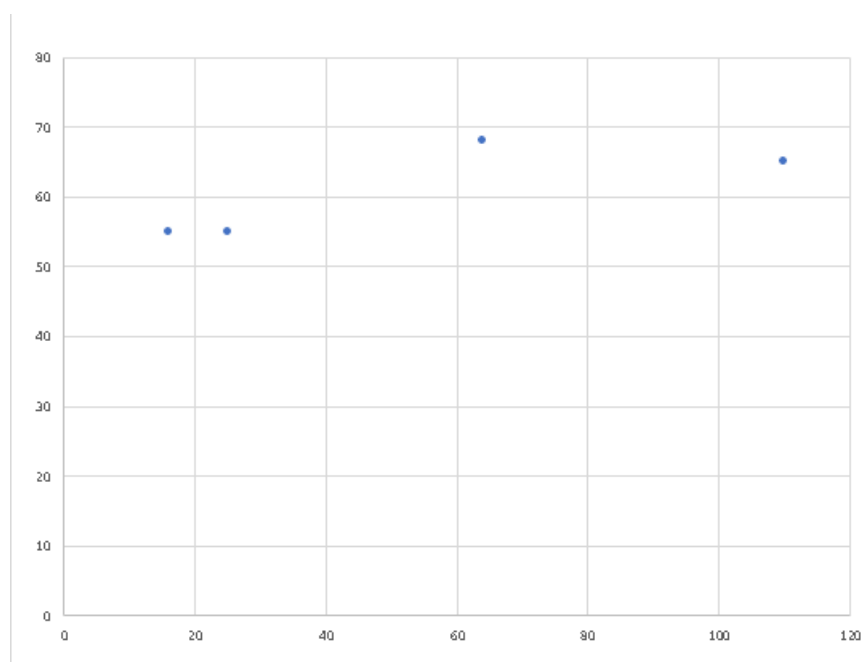


Рисунок 1.1.2 – Иллюстрация дискретных частот вибрации ПК при различных дефектах

Анализ спектров вибрации показал следующее:

Частота опрокидывания вала в подшипнике обусловленная разномерностью тел качения; Частота вибрации внутреннего кольца обусловленная разномерностью тел качения .

Анализ магнитной вибрации асинхронных двигателей

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 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 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 Несимметрия трёхфазной системы напряжения вследствие:

- неисправностей в синхронном генераторе, приводящих к несимметрии фазных напряжений;
- неравномерной загрузки фаз генератора при наличии однофазных или несимметричных трёхфазных потребителей;
- неисправностей 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.

Исходные данные согласно варианта задания для оценки магнитной вибрации асинхронного

Вариант	Частота вращения АД, об/мин	Число зубцов статора, Z1	Число зубцов ротора, Z2	Уровень вибрации, Дб				
				на частоте 50 Гц	Вертикальная вибрация на частоте 100 Гц	Осевая вибрация на частоте 100 Гц	Амплитуда вибрации на зубцовой частоте статора	Амплитуда вибрации на удвоенной зубцовой частоте статора
1	2	3	4	5	6	7	8	9
АД13	1500	48	40	60	75	45	60	56

Определим частоты вибрации на зубцовой и удвоенной зубцовой частоте статора

1	Перевод виброскорости 6 мм/с (предельное значение) в виброускорение (м/с ² ; дБ)		
	Ускорение а, м/с ²	$a_T = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot v \cdot 10^{-3}$	0,942
	Виброускорение в дБ	$L = 20 \cdot \lg(a_T/a_0)$	69,94
2	Вибрация на зубцовой частоте статора:	$L = Z_1 \cdot f_p$	1200
3	Вибрация на удвоенной зубцовой частоте статора:	$L_2 = 2 \cdot Z_1 \cdot f_p =$	2400

Сформируем поле зависимости амплитуды значения вибрации асинхронного двигателя от частоты:

Х, вибрация, Гц	У, амплитуда, Дб
50	60
100	75
100	45
1200	60
2400	56

На рисунке 1.2.1 представлены уровни вибрации в дБ и соответствующие им частоты:

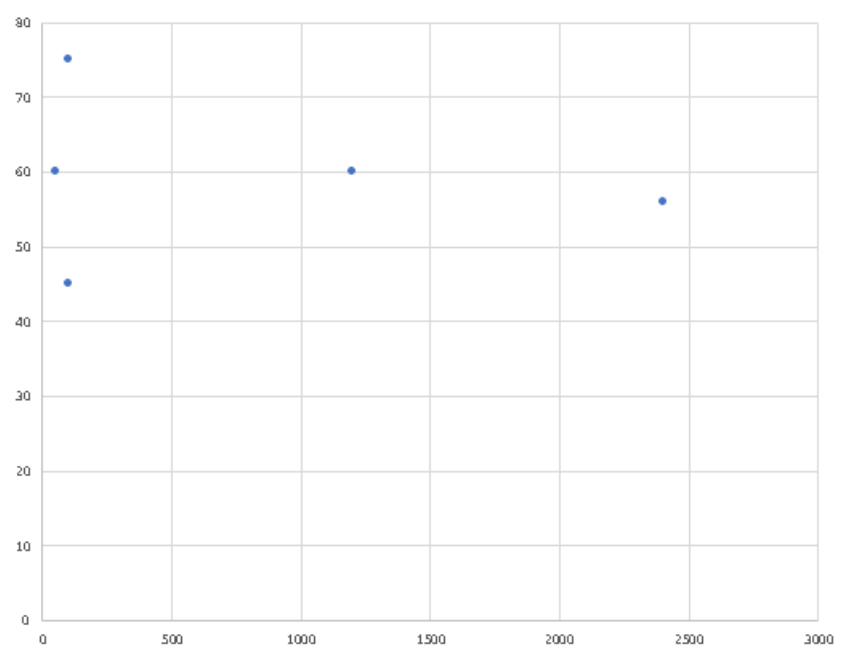


Рисунок 1.2.1 - Уровни вибрации (дБ) и соответствующие им частоты для исследуемого АД

Анализ спектров магнитной вибрации АД1:

Вертикальная магнитная вибрация. Эксцентриситет, эллипсность внутренней расточки статора относительно оси вращения ротора.

1.3. Анализ технического состояния изоляции статорной обмотки асинхронного двигателя

Около 80% аварий электрических машин связано с повреждением обмотки статора. Высокая повреждаемость обмотки объясняется тяжелыми условиями работы и недостаточной стабильностью электрических свойств изоляционных материалов. В результате повреждения изоляции может произойти замыкание между обмоткой и магнитопроводом, замыкание между витками катушек или между фазными обмотками.

Основной причиной повреждения изоляции является резкое снижение электрической прочности под влиянием увлажнения обмотки, загрязнения поверхности обмотки, попадания в электродвигатель металлической стружки, металлической и другой проводящей пыли, наличия в охлаждающем воздухе паров различных жидкостей, продолжительной работы электродвигателя при повышенной температуре обмотки, естественного старения изоляции.

Увлажнение обмотки может произойти вследствие продолжительного хранения электродвигателя в сыром неотапливаемом помещении. В установленном электродвигателе увлажнение может произойти при длительном неподвижном состоянии, особенно при повышенной влажности окружающего воздуха или при попадании воды непосредственно в электродвигатель.

Для предупреждения увлажнения обмотки во время хранения электродвигателя необходимы хорошая вентиляция складского помещения и умеренное отопление в холодное время года. В периоды длительных остановок электродвигателя при сырой и туманной погоде следует закрывать задвижки воздушных каналов поступающего и выходящего воздуха. При теплой сухой погоде все задвижки должны быть открыты.

Загрязнение обмотки электродвигателя происходит главным образом вследствие использования для охлаждения недостаточно чистого воздуха. Вместе с охлаждающим воздухом в электродвигатель могут попадать угольная и металлическая пыль, сажа, пары и капли различных жидкостей. Вследствие износа щеток и контактных колец образуется проводящая пыль, которая при встроенных контактных кольцах оседает на обмотках электродвигателя.

Предотвращение загрязнения может быть достигнуто внимательным уходом за электродвигателем и тщательной очисткой охлаждающего воздуха. Необходимо периодически осматривать электродвигатель, очищать его от пыли и грязи и в случае необходимости производить мелкий ремонт изоляции. При повышенном нагревании, а также в результате естественного старения изоляция в значительной мере утрачивает механическую прочность, становится хрупкой и гигроскопичной.

При длительной работе машины крепления пазовых и лобовых частей обмотки ослабевают и вследствие вибрации их изоляция разрушается. Изоляция обмотки может быть повреждена: из-за небрежной сборки и транспортировки электродвигателя, вследствие разрыва вентилятора или банджа ротора, в результате задевания ротора за статор.

Сопротивление изоляции обмотки статора асинхронных электродвигателей

Применяемый на практике способ оценки технического состояния изоляции электрических машин и кабелей на основе высоковольтных испытаний является разрушающим и пагубным. Как показывает практика, неоднократные высоковольтные испытания разрушают изоляцию, что приводит к сокращению ресурса, аварийным остановам и к необоснованным затратам на ремонт. В настоящее время, ученые разработали неразрушающие методы контроля степени износа изоляции обмоток.

Эти методы основаны на измерении следующих параметров:

- Коэффициент абсорбции и поляризации;
- Тангенс угла диэлектрических потерь – $\tan \delta$ (%);
- Частичные разряды (пКл);
- Температурное поле.

Определение коэффициентов абсорбции и поляризации основано на регистрации значений сопротивления изоляции электродвигателя через определенные промежутки времени с целью вычисления данных коэффициентов, по значению которых можно судить о степени увлажнения изоляции (коэффициент абсорбции) и способности заряженных частиц и диполей в диэлектрике перемещаться под действием электрического поля (коэффициент поляризации).

Емкость изоляции может быть представлена геометрической емкостью, определяемой геометрическими размерами изоляции, и емкостью абсорбционной, т. е. емкостью, образуемой в толще изоляции неоднородностями изоляционного материала, а также различными включениями в виде воздушных промежутков, влаги, загрязнений и др.

При приложении напряжения через изоляцию в первый момент проходит ток заряда геометрической емкости, быстро прекращающийся в связи с процессом зарядки этой емкости.

Абсорбционная емкость проявляется не сразу после приложения к изоляции напряжения, а спустя некоторое время после заряда геометрической емкости в результате последующего перераспределения зарядов в толще изоляции и накопления их на границах отдельных слоев, образующих из-за неоднородностей как бы цепочку последовательно включенных емкостей. Следствием заряда соответствующих отдельных емкостей (поляризации) является ток абсорбции в изоляции.

После прекращения поляризации, т. е. заряда абсорбционной емкости, ток абсорбции становится равным нулю, но через изоляцию продолжает проходить ток сквозной проводимости (ток утечки), значение которого определяется сопротивлением изоляции постоянному току.

Определение влажности по коэффициенту абсорбции основано на сравнении показаний мегомметра, снятых через разные промежутки времени после приложения напряжения.



$$K_{аб} = R_{60} / R_{15}$$

где R60 и R15 - сопротивление изоляции, измеренное соответственно через 60 и 15 с после приложения напряжения мегомметра.

Для неувлажненной обмотки при температуре 10 - 30 °С $K_{аб} = 1,3 - 2,0$, а для увлажненной обмотки коэффициент абсорбции близок к единице. Это различие объясняется разной длительностью заряда абсорбционной емкости у сухой и влажной изоляции.

Индекс поляризации PI (Polarization Index)- Кп показывает способность заряженных частиц перемещаться в диэлектрике под воздействием электрического поля, что определяет степень старения изоляции. Метод измерения основан на сравнении величин сопротивления изоляции через 60 и 600 секунд после начала испытаний:

$$K_{п} = R_{600}/R_{60}.$$

Коэффициент поляризации не является обязательным при проведении испытаний и определяется при комплексном испытании электроустановок. Значение коэффициента показывает остаточный ресурс изоляции. Данное испытание занимает достаточно много времени и характеризует сильно замедленный поляризацией ток.

Индекс поляризации	Коэффициент абсорбции	Качество изоляции
< 1	< 1,25	Опасное
1...2		Несоответствующее
2...4	1,25...1,6	Хорошее
> 4	> 1,6	Отличное

Коэффициент диэлектрического разряда DD (Dielektric Discharge) - коэффициент микропористости используется при проверке неоднородной или многослойной изоляции, позволяя обнаружить дефектный слой среди исправных слоев с высоким сопротивлением. При помощи стандартных измерений коэффициентов $K_{аб}$ и $K_{п}$ такой дефект можно не заметить.

Сначала исследуемая изоляция заряжается напряжением в течение определенного времени и измеряется ее емкость. После зарядки и поляризации, единственным током, текущим через изоляцию будет ток утечки. Затем объект измерения разряжается и через изоляцию начинает течь суммарный ток диэлектрического разряда. Этот ток первоначально является суммой тока разряда емкости, который очень быстро исчезает, и тока абсорбции. Ток утечки будет незначительный, так как отсутствует испытательное напряжение. Поэтому коэффициент диэлектрического разряда является величиной, характеризующей качество изоляции, независимо от испытательного напряжения.



Коэффициент диэлектрического разряда	Качество изоляции
> 7	Очень плохое
4...7	Плохое
2...4	Неудовлетворительное
< 2	Хорошее

В качестве исходных данных для диагностируемого АД заданы значения Каб (коэффициент абсорбции), Кп (коэффициент поляризации), Км (коэффициент микропористости):

Таблица 1.3.1 – Результаты замеров состояния изоляции статорной обмотки асинхронного двигателя

Показатель	Каб	Кп	Км	Кдд
Эталон	1,3	2	1	2
Фактическое значение	1	1,5	1,5	4

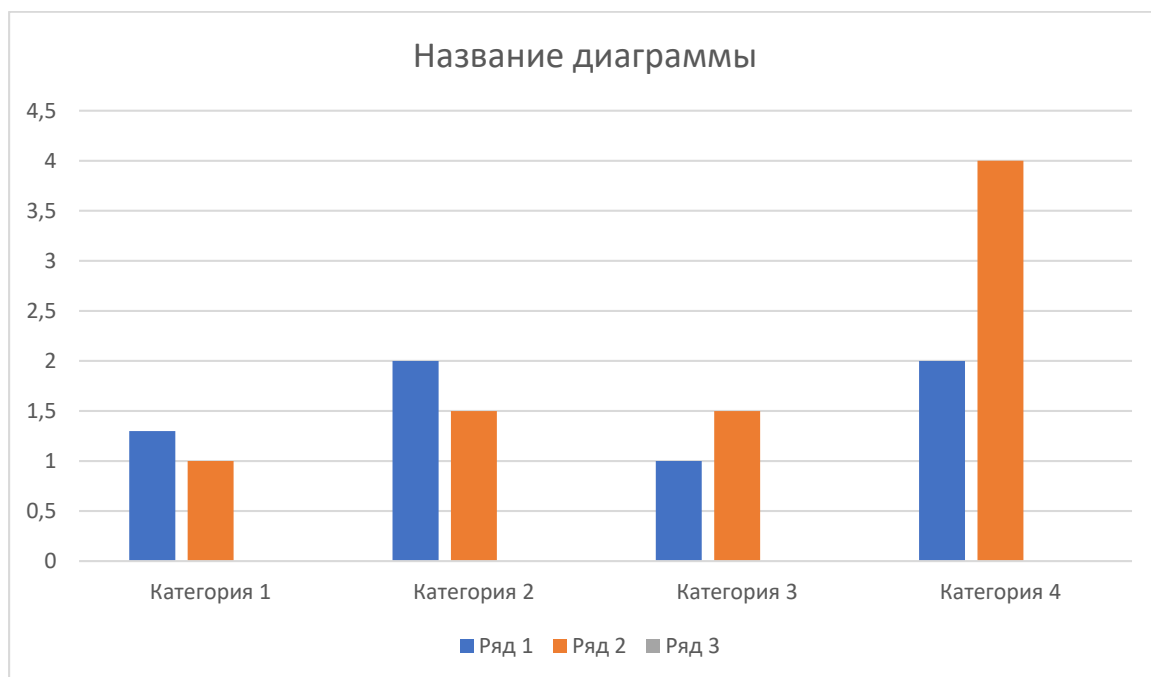


Рисунок 1.3.1 – Диаграмма для анализа состояния статорной обмотки асинхронных двигателей

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: техническое состояние статорной обмотки – опасное. Так как все коэффициенты не соответствуют норме.

1.4. Составление дефектной ведомости и оценка материально-технического обеспечения для выполнения ремонта асинхронного двигателя

В таблице 1.4.1. представлена дефектная ведомость на ремонт асинхронных двигателей по результатам технического диагностирования

ДЕФЕКТНАЯ ВЕДОМОСТЬ НА РЕМОНТ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Тип АД	Частота вращения, об/мин	Тип подшипника качения	Выявленные дефекты	Перечень ремонтных работ
АД13	1500	Подшипник качения 304№1	Разномерность тел качения	Балансировка. Проведение работ по балансировке роторов с параллельной диагностикой ограничений на ее эффективность. Перемотка статорной обмотки.
		Подшипник качения 304 №2	Разномерность тел качения	
			Магнитная вибрация АД1 не в норме	
			Состояние статорной обмотки: техническое состояние статорной обмотки – опасное	

2. ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ МАСЛОПОЛНЕННОГО ТРАНСФОРМАТОРА

2.1. Анализ результатов физико-химического испытания трансформаторного масла

Многие повреждения или отклонения от нормального состояния вообще никак не проявляются при внешнем осмотре трансформаторов. Особенно это относится к начинающимся внутренним повреждениям. Значительная часть внутренних повреждений может быть определена проверкой состояния трансформаторного масла. Такие внутренние повреждения, как местные перегревы, частичные разряды (в масле или твердой изоляции), незначительное искрение в контактных соединениях и т.п., так или иначе сказываются на свойствах трансформаторного масла. Изменение его характеристик происходит также при увлажнении, загрязнении, попадании воздуха или другого газа и, наконец, в результате естественного старения как самого масла, так и твердой изоляции. Испытание и химический анализ трансформаторного масла являются старейшими и наиболее распространенными способами проверки состояния трансформаторов.

Трансформаторное масло выполняет функции диэлектрика и охлаждающей среды, а для устройств РПН также дугогасящей среды. Свежее трансформаторное масло светло-желтого цвета и имеет высокие физико-химические и диэлектрические свойства. Старение масла в эксплуатации связано с его окислением. При соблюдении всех правил монтажа трансформатора и заливки масла на первом этапе процесс окисления происходит медленно. Изменения в масле обычными методами почти не обнаруживаются, но стабильность масла постепенно снижается. На втором этапе масло приобретает коричневый цвет, становится мутным, увеличивается кислотное число и зольность, появляются низкомолекулярные кислоты, которые оказывают вредное воздействие как на бумажную изоляцию, так и на металлы. Появляются осадки, которые могут ухудшить условия охлаждения обмоток.

Помимо внутренних, так сказать "естественных", причин старения масла (высокая температура, изоляционный лак, остаточная влага в масле и бумажной изоляции, медь и другие материалы, с которыми соприкасается масло), сказываются и внешние причины - недостаточная очистка трансформатора при смене масла, попадание воды, неисправность контактов, наличие короткозамкнутых контуров и других причин местных перегревов и т.д. Так, при попадании воды снижается пробивная прочность масла. В общем случае вязкость и температура вспышки масла в эксплуатации увеличиваются за счет испарения легких фракций масла. Но при наличии местных перегревов за счет разложения масла при высокой температуре без доступа воздуха температура вспышки может понизиться.

Предельно допустимые показатели физико-химических и диэлектрических свойств как вновь заливаемого, так и эксплуатируемого трансформаторного масла ограничены нормами и приведены в табл. 2.1.1. Требования к маслу, находящемуся в эксплуатации, ниже, чем ко вновь заливаемому. К некоторым сортам масла, а также к маслу в некоторых типах трансформаторов требования могут отличаться от указанных в табл. 2.1.1, что должно быть оговорено в соответствующих технических условиях или инструкции завода-изготовителя.

Таблица 2.1.1. Предельные значения показателей качества трансформаторного масла по нормам

№ Наименование показателя	Значение показателя масла						
	свежего			после заливки			
	ТКп	ГОСТ 10121-76	Т-750	ТКп	ГОСТ 10121-76	Т-750	эксплуатационного всех марок
1. Пробивное напряжение, кВ, при:							
U _{ном} < 15 кВ	30	30	-	25	25	-	20
U _{ном} = 15-35 кВ	35	35	-	30	30	-	25
U _{ном} = 60-220 кВ	45	45	-	40	40	-	35
U _{ном} = 330-500 кВ	55(60)	55(60)	55(60)	50(55)	50(55)	50(55)	45
U _{ном} = 750 кВ	-	-	65(70)	-	-	60(65)	55(60)
Для контактов РПН							
U _{ном} = 10 кВ	30	30	-	25	25	-	25
U _{ном} = 35 кВ	35	35	-	30	30	-	30
U _{ном} = 110 кВ	45	45	-	40	40	-	35
U _{ном} = 220 кВ	45	45	-	40	40	-	40
2. Механические примеси	визуально						
3. Кислотное число, мг КОН/г	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,25
4. Водорастворимые кислоты и щелочи, мг КОН/г							
для трансформаторов более 630 МВ*А и герметичных вводов до 500 кВ	отсутствие						
Для негерметичных вводов	отсутствие						0,03
5. Температура вспышки, °С	135	150	135	135	150	135	Снижение не более 5°С по сравнению с предыдущим анализом
6. tgδ, %, при 20°С для:							
U _{ном} < 220 кВ	0,2	0,2	-	0,3	0,3	-	0,7
U _{ном} = 330-500 кВ	0,2	0,2	-	0,3	0,3	-	0,5
при 70 °С для:							
U _{ном} < 220 кВ	1,5	2	0,3	2,0	2,5	0,5	7,0
U _{ном} = 330-500 кВ	1,5	2	0,3	2,0	2,5	0,5	5,0
U _{ном} = 750 кВ	1,5	2	0,3	2,0	2,5	0,5	5,0
При 90°С	2,6	2,6	0,5	-	-	0,7	-
7. Влагосодержание, % по массе, для:							
U _{ном} < 220 кВ	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	По заводским нормам
U _{ном} = 330-500 кВ	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0025
U _{ном} = 500 кВ	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
8. Температура застывания, °С	-45	-45	-55	-	-	-	-
9. Газосодержание	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-

Отбор проб масла в эксплуатации из баков трансформаторов напряжением 330 кВ и выше, а также блочных трансформаторов мощностью 180 МВА и более

любого напряжения производится не реже 1 раза в год. Для остальных трансформаторов масло проверяется не реже 1 раза в 3 года. Масло негерметичных вводов напряжением 500 кВ проверяется в первые 2 года эксплуатации не реже 2 раз в год, в дальнейшем - 1 раз в 2 года; при напряжении 110-330 кВ - 1 раз в год в течение первых двух лет, в дальнейшем - 1 раз в 3 года. Масло из герметичных вводов в общем случае не проверяется.

Пробы масла из контакторов устройств РПН должны отбираться не реже 1 раза в год. Однако если переключения производятся достаточно часто, то отбор проб производится через меньшие интервалы времени. Обычно число переключений между отборами проб должно составлять не более 5000, если иное не указано в инструкции завода-изготовителя. При снижении пробивного напряжения или обнаружении воды масло в контакторе подлежит замене. Для многих устройств РПН инструкции заводов-изготовителей требуют заменять масло в контакторе через 5 лет или 25 тыс. переключений независимо от его состояния.

Выполним анализ физико-химического испытания трансформаторного масла согласно заданных параметров испытания:

Показатель	Упр.кВ	Температура вспышки, t, °C	Влагосодержание, г/т	Механические примеси, о.е.	КОН, мг/т	Кислоты, мг/т
Эталон	35	125	10	13	0,25	0,014
Фактическое значение	78	151	8	11	0,005	0,004



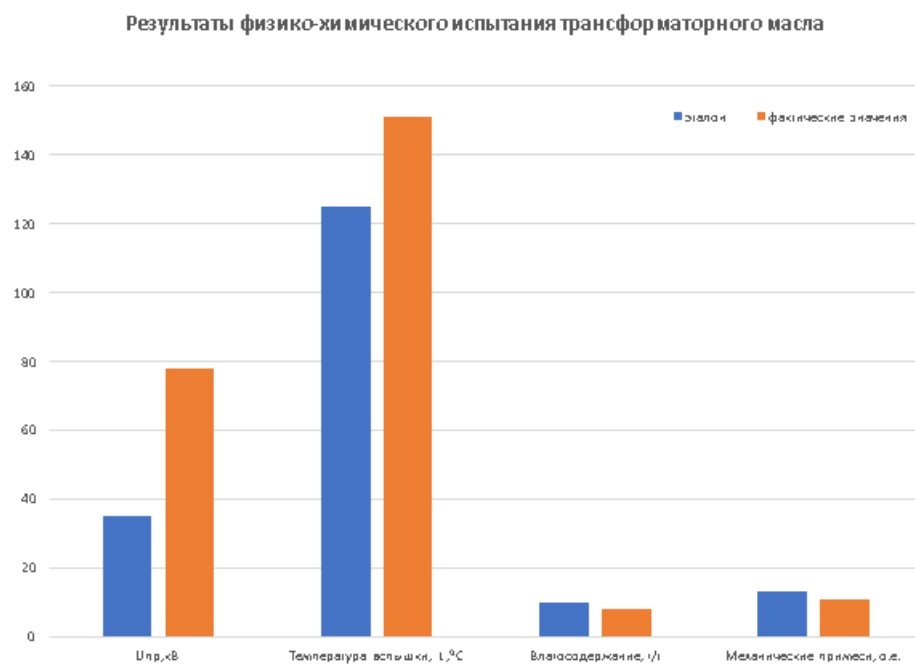


Рисунок 2.1.1 – Сравнение результатов физико-химического анализа трансформаторного масла с эталонными значениями

Заключение: физико-химический анализ – механические примеси ; химический анализ – в пределах нормы.

Рекомендации: регенерация масла.

2.2. Анализ результатов хроматографического контроля растворенных газов в трансформаторном масле

Необходимость контроля за изменением состава масла в процессе эксплуатации трансформаторов ставит вопрос о выборе такого аналитического метода, который смог бы обеспечить надежное качественное и количественное определение содержащихся в трансформаторном масле соединений. В наибольшей степени этим требованиям отвечает хроматография, представляющая собой комплексный метод, объединивший стадию разделения сложных смесей на отдельные компоненты и стадию их количественного определения. По результатам этих анализов проводится оценка состояния маслonaполненного оборудования.

Хроматографический анализ газов, растворенных в масле, позволяет выявить дефекты трансформатора на ранней стадии их развития, предполагаемый характер дефекта и степень имеющегося повреждения. Состояние трансформатора оценивается сопоставлением полученных при анализе количественных данных с граничными значениями концентрации газов и по скорости роста концентрации газов в масле. Этот анализ для трансформаторов напряжением 110 кВ и выше должен осуществляться не реже 1 раза в 6 месяцев.

Основными газами, характеризующими определенные виды дефектов в трансформаторе, являются: водород H_2 , ацетилен C_2H_2 , этан C_2H_6 , метан CH_4 , этилен C_2H_4 , окись CO и двуокись CO_2 углерода.

Водород характеризует дефекты электрического характера (частичные, искровые и дуговые разряды в масле); ацетилен - перегрев активных элементов; этан - термический нагрев масла и твердой изоляции обмоток в диапазоне температур до $300^{\circ}C$; этилен - высокотемпературный нагрев масла и твердой изоляции обмоток выше $300^{\circ}C$; окись и двуокись углерода - перегрев и разряды в твердой изоляции обмоток.

С помощью анализа количества и соотношения этих газов в трансформаторном масле можно обнаружить следующие дефекты в трансформаторе.

1. Перегревы токоведущих частей и элементов конструкции магнитопровода. Основные газы: этилен или ацетилен. Характерные газы: водород, метан и этан. Если дефектом затронута твердая изоляция, заметно возрастают концентрации окиси и двуокиси водорода.

Перегрев токоведущих частей может определяться: выгоранием контактов переключающих устройств; ослаблением крепления электростатического экрана; ослаблением и нагревом контактных соединений отводов обмотки низкого напряжения или шпильки проходного изолятора ввода; лопнувшей пайкой элементов обмотки; замыканием проводников обмотки и другими дефектами.

Перегрев элементов конструкции магнитопровода может определяться: неудовлетворительной изоляцией листов электротехнической стали; нарушением изоляции стяжных шпилек, ярмовых балок с образованием короткозамкнутого контура; общим нагревом и недопустимыми местными нагревами от магнитных полей рассеяния в ярмовых балках, бандажах, прессующих кольцах; неправильным заземлением магнитопровода и другими дефектами.

2. Дефекты твердой изоляции. Эти дефекты могут быть вызваны перегревом изоляции от токоведущих частей и электрическими разрядами в изоляции. При перегреве изоляции от токоведущих частей основными газами являются окись и двуокись углерода, их отношение CO_2/CO , как правило, больше 13; характерными газами с малым содержанием являются водород, метан, этилен и этан; ацетилен, как правило, отсутствует.

При разрядах в твердой изоляции основными газами являются ацетилен и водород, а характерными газами любого содержания - метан и этилен. При этом отношение CO_2/CO , как правило, меньше 5.

3. Электрические разряды в масле. Это частичные, искровые и дуговые разряды. При частичных разрядах основным газом является водород; характерными газами с малым содержанием - метан и этилен. При искровых и дуговых разрядах основными газами являются водород и ацетилен; характерными газами с любым содержанием - метан и этилен.

После выявления дефекта и его подтверждения не менее чем двумя-тремя последующими измерениями следует планировать вывод трансформатора из работы прежде всего с дефектами группы 2. Чем раньше выведен из работы трансформатор с развивающимся дефектом, тем меньше риск его аварийного повреждения и объем ремонтных работ.

Хроматографический анализ газов, растворенных в масле, позволяет выявлять не только развивающиеся дефекты в трансформаторе, но и общее состояние изоляции его обмоток. Объективным показателем, позволяющим оценить степень износа изоляции обмоток трансформатора, является степень ее полимеризации, снижение которой прямо характеризует глубину физико-химического разрушения (деструкции) изоляции в процессе эксплуатации. Деструкции целлюлозной изоляции сопутствует рост содержания в трансформаторном масле окиси и двуокиси углерода и образование фурановых производных. В частности, наличие суммарной концентрации CO и CO_2 более 1% может свидетельствовать о деградации целлюлозной изоляции. Образование фурановых производных является прямым следствием старения бумажной изоляции.

Метод жидкостной хроматографии позволяет определять и контролировать требуемое содержание в трансформаторном масле антиокислительных присадок, защищающих масло и другие изоляционные материалы трансформатора от старения.

Вариант	Тип тр-ра	$S_{ном}$, кВА	Увн,кВ	Год выпуска	Тип РПН	Марка масла
5	ТМН	2500	35	1988	РНТА	ТКп ТУ 38.101.890-81

Состав газов,% об						
H_2 водород	CH_4 метан	C_2H_2 ацетилен	C_2H_4 этилен	C_2H_6 этан	CO оксид углерода	CO_2 диоксид углерода
0,01	0,01	0,001	0,01	0,005	0,006	0,4
0,0226	0,01	0,0128	0,0074	0,0007	0,013	0,045

Заключение:

$C_2H_2/C_2H_4=1,72$

$CH_4/H_2=0,442$

$C_2H_4/C_2H_6=10,57$

Результаты:

1) по отношению C_2H_2/C_2H_4 возможны варианты

3, 5, 4

2) по отношению CH_4/H_2 возможны варианты

6, 4, 5

3) по отношению C_2H_4/C_2H_6 возможны варианты

5, 9

Наибольшее совпадение выявлено по дефекту (разряды большой мощности)

одна есть подозрение на термический дефект высокой температуры, по этой причине необходимо провести термографию и ЧР с помощью зонда частичных разрядов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате были решены следующие задачи:

ЧАСТЬ 1:

1. Согласно заданию, вычислены информативные частоты вибрации подшипников качения и магнитной вибрации асинхронного двигателя.
2. Выявлены дефекты подшипников качения и магнитной системы асинхронного двигателя.
3. Определена степень износа изоляции статорной обмотки по четырем параметрам.
4. Сформулировано заключение о техническом состоянии асинхронного двигателя и составлена ремонтная ведомость.

ЧАСТЬ 2:

1. Согласно заданию, проведен анализ результатов физико-химического испытания трансформаторного масла.
2. Согласно заданию, проведен анализ горючих газов хроматографического контроля.

Список используемых источников

1. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учеб. пособие / Н.В. Грунтович. — Минск: Новое знание ; М.: ИНФРА-М, 2013. — 271 с. : ил. — (Высшее образование: Бакалавриат).
2. Ерошенко Г. П. Эксплуатация энергооборудования сельскохозяйственных предприятий : учеб. для вузов / Ерошенко Г. П. , Медведько Ю. А., Таранов М. А. - Ростов н/Д :Терра, 2001. - 592 с.
3. Эксплуатация электрооборудования : учеб. для вузов / [Г. П. Ерошенко, А. П. Коломиец, Н. П. Кондратьева и др.] - М. :КолосС, 2005. - 344 с. - (Учебники и учебные пособия для студентов вузов).
4. Хорольский В. Я. Задачник по эксплуатации электрооборудования.- Ростов- на- Дону: ООО «Терра Принт», 2006 – 216 с.
5. Над. Влад. Грунтович, Ник. Вас. Грунтович, И.В. Петров. Способы вибродиагностирования роторных механизмов. Научн.-практ. Журнал «Агротехника и энергообеспечение», Из-во Орловский ГАУ, Г. Орел, № 4 (8), 2015г. – с. 40-51.
6. Грунтович Н.В. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта. Энергетическая стратегия. – 2013 – № 12., с.21-26
- 7.Компьютерные системы технического диагностирования маслонаполненных трансформаторов. Грунтович Н.В., Колесников П.М., Петров И.В. Вестник ГГТУ. – 2013 – № 6. – С.94-99.
- 8.Грунтович Н.В., Грунтович Н.В., Ефремов Л.Г., Федоров О.В. Совершенствование систем управления энергетической эффективностью и экономической безопасностью промышленных предприятий. Вестник Чувашского университета. 2015. № 3. С. 40-48.
9. Грунтович Н.В., Грачек Н.И. Комплексное техническое диагностирование электротехнического оборудования — основа системы ремонтов «по состоянию». Горный журнал. 2003. № 7. С. 67-69.