МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

СБОРНИК РЕШЕНИЙ И ЦИРКУЛЯРОВ ГЛАВТЕХУПРАВЛЕНИЯ ЗА 1988 год

(Электротехническая часть)

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА ОРГРЭС

Москва 1991

gost.e-ecolog.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРЕССОВКИ ЗУБЦОВ КРАЙНИХ ПАКЕТОВ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРА

РД 34.45.302-88

Р А З Р А Б О Т А Н О Всесоюзным научно-исследовательским институтом электроэнергетики (ВНИИЭ)

И С П О Л Н И Т Е Л И Л.А.БИБЕР, В.М.НАДТОЧИЙ, А.В.ШТЕЙНШНЕЙДЕР

У Т В Е Р Ж Д Е Н О Главным научно-техническим управлением энергетики и электрификации 04.04.88 г.

Заместитель начальника К.М.АНТИПОВ

УДК 621.313.322-82(083.96)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРЕССОВКИ ЗУБЦОВ КРАЙНИХ ПАКЕТОВ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРА

РД 34.45.302.88

Срок действия установлен
с 01.06.88 г.
до 01.06.93 г.

В настоящих Методических указаниях приведен метод контроля прессовки зубцов крайних пакетов сердечника статора гидрогенератора и методика выполнения измерений.

Методические указания предназначены для инженерно-технических работников, занимающихся виброакустическими испытаниями.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Одним из важных показателей технического состояния гидрогенератора является качество прессовки зубцовой зоны крайних пакетов шихтованного сердечника. Для своевременного обнаружения ослабления плотности прессовки зубцовой зоны, предотвращения выкрашивания активной стали и возникновения связанных с ним аварийных ситуаций необходимо производить ее контроль.

I.2. Периодичность контроля, порядок проведения профилактического ремонта крайних пакетов сердечника статора гидрогенераторов приведены в Эксплуатационном циркуляре № Э-8/80 "О контроле состояния прессовки зубцов сердечника статора гидрогенераторов" (М.: СПО Союзтехэнерго, 1981). Порядок проведения осмотра крайних пакетов приводится в настоящих Методических указаниях (приложение I).

I.3. В межремонтный период следует проводить виброакустические испытания для оценки состояния прессовки зубцов крайних пакетов сердечника статора гидрогенератора в соответствии с настоящими Методическими указаниями.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

2.I. Назначение методики

2.I.I. Методика выполнения измерений предназначена для измерения электрического напряжения, пропорционального среднеквадратическому значению (СКЗ) виброускорения на спинке крайних пакетов сердечника статора в диапазоне частот от 3000 до I0000 Гц в режимах ХХ при снятом возбуждении (ХХО) и ХХ с номинальным возбуждением (ХХН) работы гидрогенератора в целях определения эксплуатационного состояния зубцовой зоны крайних пакетов.

2.I.2. Область применения методики - гидрогенераторы с незапеченными крайними пакетами.

2.I.3. Измеряемым параметром является электрическое напряжение на выходе пьезоэлектрического акселерометра, пропорциональное СКЗ виброускорения в диапазоне частот 3000÷I0000 Гц в режимах ХХО и ХХН работы гидрогенератора, в различных точках спинки крайних пакетов сердечника статора.

С учетом коэффициентов передачи используемых в измерительной схеме устройств диапазон измерения электрического напряжения на входе измерительного прибора[I] равен: в режиме ХХО - 0,03÷I мВ; в режиме ХХН - 0,03÷50 мВ. Номинальное значение измеряемого параметра не устанавливается.

[I]Диапазоны измерения указаны для пьезоэлектрических акселерометров с коэффициентом преобразования В = 4 мВ/м·с$^{-2}$.

2.2. Нормы точности измерений

2.2.I. При диагностике состояния крайних пакетов используется отношение СКЗ электрических сигналов, выработанных пьезоэлектрическими акселерометрами в диапазоне частот от 3000 до I0000 Гц в режимах ХХО и ХХН. Измерения в обоих режимах в каждой точке осуществляются теми же пьезоэлектрическими акселерометрами и по одной и той же измерительной схеме, в которую входят те же самые элементы. Поэтому можно нормировать только случайную составляющую погрешности измерений. Случайная составляющая погрешности измерений при использовании схемы рис.I состоит из случайных составляющих погрешностей элементов схемы, которые

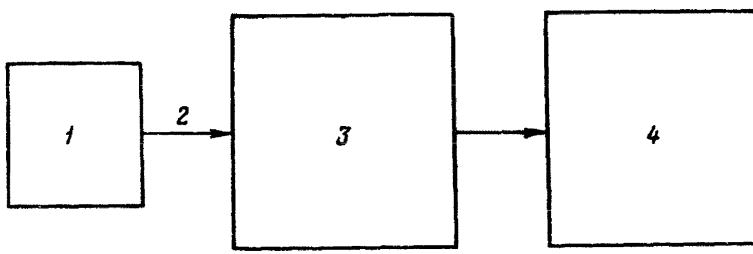

Рис.I. Структурная схема проведения виброакустических измерений

можно принять: для пьезоэлектрического акселерометра ($\delta_1 = 0{,}03$), для предварительного усилителя ($\delta_2 = 0{,}03$), для полосового фильтра ($\delta_3 = 0{,}05$) и для измерительного прибора ($\delta_4 = 0{,}05$). Среднеквадратическая погрешность схемы измерений $\bar{\delta}_1 = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2} = 0{,}08$. При проведении операции деления результатов измерений в различных режимах работы генератора, осуществленных по той же схеме с теми же ее элементами, суммарная среднеквадратическая случайная погрешность $\bar{\delta}_2 = \sqrt{2}\,\bar{\delta}_1 = 0{,}I2$. С учетом различных климатических, температурных и других условий при проведении испытаний итоговую точность измерений можно принять равной 0,2.

2.3. Метод измерений

2.3.I. Обоснование возможности виброакустического контроля сердечника статора с ослабленной прессовкой крайних пакетов приведено в приложении 2.

2.3.2. В точках установки приемных пьезоэлектрических акселерометров формируется определенный уровень виброускорения, создаваемый сигналом, генерируемым распушенными зубцами из-за соударения их пластин при колебаниях в аксиальном магнитном поле рассеяния, а также помехами в результате вибрации других узлов генератора. Эксперименты показали достаточное превышение (более чем двукратное) сигналом от распушенных зубцов помехового сигнала при измерениях в частотном диапазоне выше 3000 Гц. Пьезоэлектрический акселерометр вырабатывает широкополосный электрический сигнал со спектром таким же, как и у виброускорения в этой точке, и с амплитудой, пропорциональной амплитуде виброускорения, с коэффициентом пропорциональности, равным коэффициенту преобразования пьезоэлектрического акселерометра.

Измерения рекомендуется проводить по схеме рис.I.

Измерения могут осуществляться с помощью одного переносного автономного измерительного прибора. Измерительный прибор необходимо поочередно подключать к предварительно выведенным из охладителей антивибрационным кабелям, которые другим концом должны быть присоединены к укрепленным на спинке сердечника пьезоэлектрическим акселерометрам.

При измерениях по приведенной схеме (см.рис.I) сигнал с пьезоэлектрического акселерометра I по антивибрационному кабелю 2 поступает на вход полосового фильтра 3, выход которого подключен к входу автономного измерительного прибора 4.

2.4. Средства измерений и вспомогательные устройства

2.4.I. При выполнении измерений следует использовать следующую виброакустическую аппаратуру:

2.4.I.I. Пьезоэлектрические акселерометры

Коэффициент преобразования..... Не ниже 3 мВ/м·с$^{-2}$

Резонансная частота при креплении стальной шпилькой ..... Не ниже 30 кГц*

Магнитная чувствительность ..... Не более 2 мкВ/Гс

Минимальное измеряемое ускорение.... Не менее 0,01 м/с^2

Рекомендуются пьезоэлектрические акселерометры типов КДI0, КДII, КДI2, КДI3, КД29, производства фирмы "Роботрон" (ГДР).

Антивибрационные кабели поставляются в комплекте с пьезоэлектрическими акселерометрами.

2.4.I.2. Предусилители могут выполняться на основе микросхемы К284УЕIА или аналогичной; выходом предусилителя является вывод I3 микросхемы (рис.2).

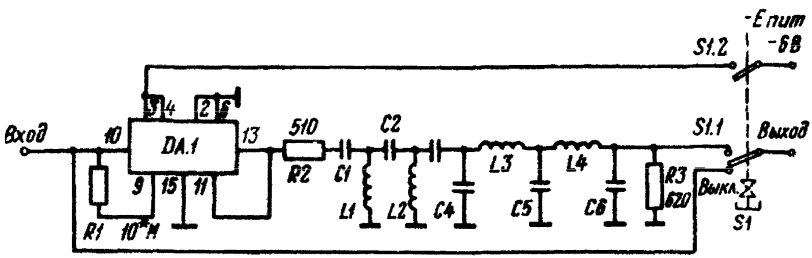

Рис.2. Схема полосового фильтра с предусилителем ДА.I типа К284УЕIА:

$C1 = C3 =$ 0,I мк; $C2 = C5 =$ 0,047 мк; $C4 = C6 =$ 0,022 мк; $L1 = L2 = L3 = L4 =$ I7 мГн

*Допускается применять пьезоэлектрические акселерометры КД39 с резонансной частотой 25 кГц. При этом следует использовать полосовой фильтр с полосой прозрачности от 3000 до 8000 Гц.

Входное сопротивление в диапазоне частот 3000-10000 Гц	Не ниже 5 МОм
Коэффициент передачи по напряжению	Не менее 0,97
Напряжение питания	-6В ± 20%

Возможно использование любых стандартных предусилителей, предназначенных для работы с пьезоэлектрическими акселерометрами.

2.4.1.3. Полосовой фильтр (см.рис.2), входом фильтра является вывод 13 микросхемы.

Частота среза нижняя	3000 Гц
Частота среза верхняя	10000 Гц
Спад АЧХ вне полосы пропускания	Не менее 30 дБ на октаву
Коэффициент передачи на частоте 7000 Гц	0,5 ± 0,05
Неравномерность АЧХ в полосе пропускания	Не более 3 дБ

Собранный полосовой фильтр должен быть экранирован.

Можно применять любые стандартные полосовые фильтры с параметрами, соответствующими приведенным.

2.4.1.4. Автономный измерительный прибор.

Для измерений следует использовать стандартные автономные виброметры, например МИ302 (производства Роботрон, ГДР) или шумомеры, например 00017, 00023 (производства Роботрон, ГДР) или аналогичные.

При измерениях шумомером необходимо предварительно замкнуть накоротко интегрирующую цепочку в переходнике контактного звука.

Измеряемый параметр	СКЗ сигнала
Диапазон рабочих частот	Не менее 3000÷ 10000 Гц
Неравномерность АЧХ в диапазоне частот 3000-10000 Гц	Не более ±0,5 дБ
Чувствительность в диапазоне частот 3000 - 10000 Гц	Не менее 30 мкВ

2.5. Условия выполнения измерений

2.5.1. Измерения необходимо проводить в соответствии с требованиями "Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок" (М.: Энергоатомиздат, 1986).

2.5.2. Измерения должны проводиться инженерно-техническими работниками, проводящими эксплуатационные испытания генераторов по настоящим Методическим указаниям.

2.5.3. При проведении измерений температура стали сердечника статора должна находиться в пределах 55 $\pm$ 5°С.

2.5.4. Для оценки влияния электромагнитных наводок на измерительную схему в режиме ХХН оператор перед проведением измерений должен обойти все точки, в которых проводились измерения в режиме ХХО, держа присоединенный к антивибрационному кабелю пьезоэлектрический акселерометр (рис.3), и записать показания прибора. При превышении уровня электромагнитных наводок 0,03 мВ измерения в режиме ХХН проводить не следует до снижения наводки до значений, менее 0,03 мВ во всех точках путем экранирования аппаратуры.

2.5.5. При измерениях в режиме ХХО следует следить, чтобы показания измерительного прибора превышали 0,03 мВ. Если в некоторых точках прибор показывает значение, меньшее, чем 0,03 мВ, проводить измерения в режиме ХХО в этих точках не следует, а состояние таких зубцовых зон следует оценивать по режиму ХХН, как это указано в п.2.8.6.

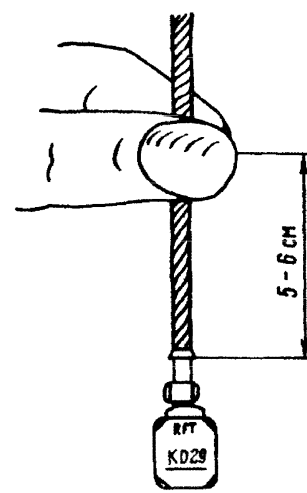

Рис.3. Измерение электромагнитных наводок на аппаратуру в режиме ХХН

2.6. Подготовка к проведению измерений

2.6.1. Правила установки на генераторе пьезоэлектрических акселерометров и прокладки измерительной трассы изложены в приложении 3. Перед проведением измерений необходимо откалибровать измерительный прибор в соответствии с инструкцией по его эксплуатации и проверить работоспособность измерительной схемы.

2.6.2. Проверку работоспособности измерительной схемы выполнить следующим образом:

откалибровать в соответствии с инструкцией по эксплуатации автономный измерительный прибор, проверить питание прибора и фильтра с предусилителем. Работоспособность пьезоэлектрических акселерометров и измерительной схемы проверяется на остановленном генераторе при последовательном обходе всех датчиков ударом молотка по корпусу генератора в районе установки соответствующего пьезоэлектрического акселерометра, при этом стрелка прибора должна реагировать на удары по корпусу генератора. Выключение фильтра с предусилителем должно приводить к увеличению показаний прибора.

Далее следует проверить работоспособность схемы в режиме ХХО. Измерительный прибор при последовательном подключении всех пьезоэлектрических акселерометров в этом режиме должен показывать значение не менее 0,03 мВ при включенном фильтре. Если это условие выполняется, схема находится в рабочем состоянии и можно переходить непосредственно к измерениям в режиме ХХО. Если в отдельных точках измеряемое напряжение меньше 0,03 мВ, следует проверить качество закрепления пьезоэлектрического акселерометра и плотность разъемных соединений. Если значение сигнала тем не менее не увеличилось, необходимо заменить соответствующие акселерометры на более чувствительные.

2.7. Выполнение измерений

2.7.1. Измерения каждым пьезоэлектрическим акселерометром проводятся дважды - в режимах ХХО и ХХН. Перед началом и сразу же после окончания каждого этапа измерений следует убедиться в том, что температура стали сердечника соответствует п.2.5.3 настоящих Методических указаний и за время проведения измерений изменилась не более чем на 5°С.

2.7.2. Оператор должен обойти все места выводов антивибрационных кабелей, присоединенных к пьезоэлектрическим акселерометрам, работоспособность которых проверена в соответствии с п.2.6.2 настоящих Методических указаний, и, поочередно подключая автономный прибор к каждому из них, последовательно проводить измерения. Затем следует повторить измерения во втором ре-

жиме, результаты заносятся в графы a_{XX0} и a_{XXH} формы записи (приложение 4) в милливольтметрах.

2.7.3. Типичные неисправности аппаратуры при проведении измерений и способы их устранения приведены в приложении 5.

2.8. Обработка результатов измерений

2.8.1. После проведения измерений должны быть выполнены расчеты и результаты расчетов занесены в форму записи (см.приложение 4). Для каждой i-й точки измерения следует вычислять отношения показаний прибора в режиме ХХН a_{Hi} к показаниям в режиме ХХ0 a_{0i} :

$$a_i = \frac{a_{Hi}}{a_{0i}} .$$

Далее следует определить среднее значение $\bar{a}$:

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^{N} a_i}{N} ,$$

где N - количество точек измерения на верхнем и нижнем крайних пакетах.

После этого для каждой i-й точки измерения вычисляется параметр состояния

$$a_i^* = \frac{a_i}{\bar{a}} .$$

Все вычисления проводятся с точностью до двух знаков после запятой.

2.8.2. Если виброакустические испытания гидрогенератора проводятся впервые, для диагностирования необходимо использовать кривые, приведенные на рис.4.

По значению $\bar{a}$ оценивается общее состояние зубцовой зоны крайних пакетов сердечника статора.

Если $\bar{a} \leqslant 7$, общее состояние крайних пакетов гидрогенератора оценивается как хорошее; если $\bar{a} \geqslant 15$, - как неудовлетворительное; если $15 > \bar{a} > 7$, - как удовлетворительное.

Для оценки вероятности наличия распушенных зубцов в крайних пакетах генератора на оси ординат (см.рис.4) откладывают максимальное для генератора значение $a_{i\,max}^*$, а на оси абсцисс значение $\bar{a}$ для данного генератора. Точка с координатами $(\bar{a}, a_{i\,max}^*)$ определяет вероятность наличия распушения в генераторе, которая

рассчитывается по формуле

$$P_i = P_1 + \frac{(P_2 - P_1)[a_i^* - a_{P_1}^*(\bar{a})]}{a_{P_2}^*(\bar{a}) - a_{P_1}^*(\bar{a})},$$

где P_1 – расчетная вероятность наличия дефектов для ближайшей к точке $(\bar{a}, a_i^*)$ нижней кривой;

P_2 – расчетная вероятность наличия дефектов для ближайшей к точке $(\bar{a}, a_i^*)$ верхней кривой;

$a_{P_1}^*(\bar{a})$ – значение a^* при данном значении $\bar{a}$ для ближайшей нижней кривой;

$a_{P_2}^*(\bar{a})$ – значение a^* при данном значении $\bar{a}$ для ближайшей верхней кривой.

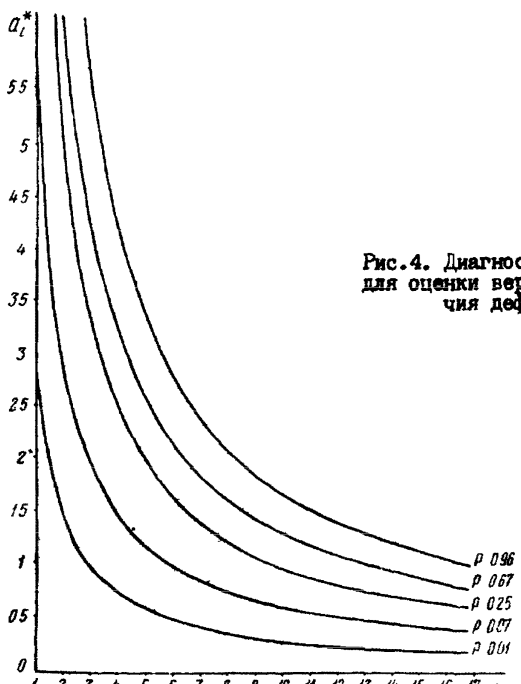

Рис.4. Диагностические кривые для оценки вероятности наличия дефектов

Состояние конкретных участков зубцовой зоны, контролируемых каждым отдельным пьезоэлектрическим акселерометром, следует

оценивать по этой же формуле, определяя на графике рис.4 соответствующие координаты ($\bar{a}$, a_i^*) для каждой i -й точки.

Оценивать индивидуальное состояние каждого участка в случае $\bar{\alpha} \geqslant 15$ нецелесообразно. Генераторы со значением $\bar{\alpha} \geqslant 15$ следует считать дефектными и проводить при первой возможности тщательный осмотр и ремонт всей зубцовой зоны.

Если вероятность наличия распушения на участке зубцовой зоны $P_i \leqslant 0{,}25$, то состояние участка не представляет повышенной опасности для дальнейшей эксплуатации генератора. Если $0{,}8 > P_i > 0{,}25$, состояние участка может представлять повышенную опасность для эксплуатации генератора. Если $P_i \geqslant 0{,}8$ состояние участка следует считать опасным для дальнейшей эксплуатации генератора и требующим проведения осмотра и при необходимости ремонта зубцовой зоны при первой возможности.

По мере накопления статистических данных приведенные пороги вероятности могут уточняться.

2.8.3. Если испытания генератора проводятся в тех же точках с использованием тех же крепежных шайб,что и предыдущие испытания, обработку результатов измерений допускается вести по упрощенной методике. Использование результатов предыдущих испытаний в качестве опорных значений позволяет не применять вероятностные критерии, полученные на основании статистического анализа результатов испытаний различных типов генераторов, имеющие вследствие этого значительный разброс.

2.8.4. Если в период между предыдущими и последующими испытаниями не проводилось уплотнения зубцовой зоны, сравниваются измеренные во время предыдущих испытаний параметры $\bar{a}_1$ и a_{i1} с параметрами $\bar{a}_2$ и a_{i2} , измеренными во время данных испытаний.

Если $\bar{a}_2 \leqslant 1{,}2\ \bar{a}_1$, общее состояние зубцовой зоны крайних пакетов за период, прошедший после предыдущих испытаний, не ухудшилось.

Для каждого отдельного участка следует сравнивать a_{i1} и a_{i2} . Если $a_{i2} \leqslant 1{,}2\ a_{i1}$, состояние i -го участка за период между испытаниями не ухудшилось. Если указанное неравенство выполняется для всех $i = (1, N)$ зубцовая зона крайних пакетов генератора не требует проведения осмотра и ремонта.

Если $\bar{a}_2 \leqslant 1{,}2\ \bar{a}_1$, но имеется несколько a_{i2} , для кото-

рых $a_{i2} > 1{,}2a_{i1}$, рекомендуется при ближайшем плановом ремонте генератора осмотреть и при необходимости "залечить" соответствующие участки.

Если $\bar{a}_2 > 1{,}2\,\bar{a}_1$, то состояние зубцовой зоны генератора за период между испытаниями ухудшилось, в связи с чем необходимо планировать осмотр и при необходимости ремонт зубцовой зоны при первой возможности.

2.8.5. Виброакустические испытания позволяют контролировать качество проведенного ремонта зубцовой зоны. Если при осмотре сердечника было найдено распушение и оно устранено, то по результатам проведения послеремонтных виброакустических испытаний можно сделать следующие выводы для i -х участков, в которых проводилось "залечивание":

если $a_{i2} < 0{,}8a_{i1}$, "залечивание" привело к улучшению состояния i -го участка;

если $1{,}2\,a_{i1} \geq a_{i2} \geq 0{,}8\,a_{i1}$, "залечивание" не привело к улучшению состояния i -го участка;

если $a_{i2} > 1{,}2\,a_{i1}$, "залечивание" проведено некачественно и ухудшило состояние i -го участка.

2.8.6. Если по причинам, указанным в пп.2.5.5 и 2.6.2, измерения в режиме ХХО в некоторых точках не проводились, можно приблизительно оценить состояние прессовки зубцовой зоны на этих участках, проделав следующие операции с результатами измерений в режиме ХХН:

2.8.6.1. Вычислить среднее значение $\bar{a}_н$:

$$\bar{a}_н = \frac{\sum_{i=1}^{N} a_{нi}}{N}$$

по всем данным измерений в режиме ХХН вне зависимости от того, проводились или нет измерения в режиме ХХО.

Примечание. Если коэффициент преобразования у датчиков, установленных на сердечнике, неодинаковый, то для каждой точки измерения следует определить $a'_{нi}$:

$$a'_{нi} = \frac{B_{iк}}{B_1} a_{нi},$$

где $к$ - количество типов используемых акселерометров;

$B_{iк}$ - коэффициент преобразования акселерометра $к$ -го типа, установленного в i -й точке;

B_1 – коэффициент преобразования для типов акселерометров, в наибольшем количестве установленных на генераторе.

При $K = I$ $\frac{B_{ск}}{B_1} = I$.

После определения $a'_{нi}$ вычисляют $\bar{a}'_н = \frac{\sum_{i=1}^{N} a'_{нi}}{N}$, $a^{*'}_{нi}$ и далее используют в формулах $a^{*'}_{нi}$ вместо $a^{*}_{нi}$.

2.8.6.2. Вычислить для каждой точки отношение

$$a^{*}_{нi} = \frac{a_{нi}}{\bar{a}_н}.$$

2.8.6.3. Вероятность наличия дефектов на i-м участке следует определять из допущений:

а) $P(a^{*}_i, \bar{a}) = P(a^{*}_{нi})$;

б) если $a^{*}_{нi} = a^{*}_{нj}$, то $P(a^{*}_{нi}) = P(a^{*}_{нj})$.

2.8.6.4. Для оценки вероятности наличия распушения на j-х участках, для которых измерения в режиме ХХО не проводились, необходимо проделать следующие операции:

а) для каждого значения $a^{*}_{нj}$ найти ближайшее значение $a^{*}_{нi}$ для точек, в которых проводились измерения в обоих режимах;

б) по кривым рис.4 определить вероятность наличия распушения для каждого значения $a^{*}_{нi}$: $P(a^{*}_{нi}) = P(a^{*}_i)$. Вероятность наличия распушения на j-м участке оценивается по значению вероятности, полученной для ближайшего к $a^{*}_{нj}$ значения $a^{*}_{нi}$:

$$P(a^{*}_{нj}) = P(a^{*}_{нi}) = P(a^{*}_i).$$

Если для точек, в которых измерения проводились только в режиме ХХН, выполняется условие $a^{*}_{нj} \gg a^{*}_{нi}$, то вероятность наличия распушения на j-м участке можно оценить только как большую, чем вероятность, определенную для участка с наибольшим для генератора значением $a^{*}_{нi}$, причем при

$$P(a^{*}_{нi}) = P(a^{*}_i), P(a^{*}_{нj}) > P(a^{*}_{нi}).$$

Следует отметить, что достоверность оценки состояния по значению $a^{*}_{нi}$ ниже, чем по значению a^{*}_i из-за неопределенности реального коэффициента преобразования пьезоакселерометра, связанного с неконтролируемым качеством приклейки датчика к объекту измерений.

2.8.7. Результаты испытаний должны быть оформлены протоколами (приложение 4).

Приложение I

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОСМОТРА ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ КРАЙНИХ ПАКЕТОВ ПРИ СОПОСТАВЛЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ С ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ ЗУБЦОВ

Проверка наличия распушения в зубцах производится ножом, описанным в Эксплуатационном циркуляре № Э-8/80.

Порядок осмотра в целом соответствует установленному Эксплуатационным циркуляром № Э-8/80 "О контроле состояния прессов-

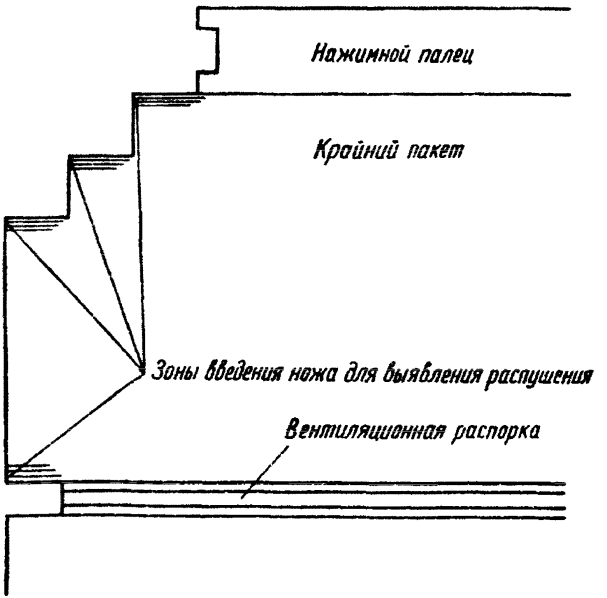

Рис.5. Зоны введения ножа для выявления распушения крайнего пакета сердечника статора генератора

ки зубцов сердечника статора гидрогенераторов". Основное отличие заключается в расположении зон введения ножа. Зоны введения ножа представлены на рис.5.

Виброакустический способ контроля чувствителен к такой степени распушения, когда нож от усилия руки входит между двумя-тремя крайними листами зубца на глубину более 10 мм.

Если имеется возможность наблюдения за слоем краски, которой окрашены зубцы, то в случае ее целостности зубец следует считать нераспушенным. В этом случае нет необходимости введения ножа.

Приложение 2

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА С ОСЛАБЛЕННОЙ ПРЕССОВКОЙ КРАЙНИХ ПАКЕТОВ

Виброакустический контроль является средством, позволяющим регулярно следить за техническим состоянием зубцовой зоны. Результаты виброакустического контроля в процессе эксплуатации могут служить основанием для своевременного вывода генератора во внеплановый ремонт, а также использоваться для оценки качества ремонта зубцовой зоны.

Аксиальное магнитное поле частотой 50 Гц, проходящее через пластины зубца крайнего пакета сердечника статора, приводит к возникновению силы, состоящей из постоянной и переменной составляющих, действующей на каждый лист крайнего пакета, которая определяется по формуле

$$F(t) = m(B_1^2 - B_2^2)\sin^2 w_0 t = F_0 - \kappa \cdot F_0 \cos 2w_0 t,$$

где m – коэффициент пропорциональности;

B_1, B_2 – входящая в лист и выходящая из него аксиальная индукция;

κ – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) пластины, $\kappa \geq 1$;

w_0 – круговая частота промышленного тока, рад/с.

При малой длине освобожденной части листа частота собственных колебаний листов больше частоты вынуждающей силы $2w_0 = 2\pi \cdot 100$, а амплитуда колебаний равна (по значению) статическо-

му отклонению листов под действием силы F_0 ($K = 1$). При отходе нажимного пальца от пакета и появлении распушивания зубца длина освобожденной части листа увеличивается и его собственная частота уменьшается. При этом частота возмущающей силы попадает в область резонансного подъема АЧХ листа. В этом случае амплитуда колебаний листа превышает значение его статического отклонения ($K > 1$), при обратном ходе верхний лист ударяет по нижнему, что приводит к возникновению виброударного процесса, который в виброакустическом сигнале, излучаемом колеблющимися листами зубца, выражается в резком увеличении СКЗ виброускорения.

Поскольку звуковой сигнал излучается в труднодоступной зоне агрегата (расточка статора), измерения следует производить на спинке крайних пакетов сердечника статора.

Исследование распространения излучаемых зубцами звуковых сигналов от точек зубцовой зоны до различных точек спинки крайнего пакета сердечника показало, что СКЗ виброакустического сигнала максимально напротив точки излучения и уменьшается по обе стороны от нее по экспоненциальному закону

$$a_{СКЗ}(x) = a_{СКЗ}(o)\exp(-\alpha/x/),$$

где $a_{СКЗ}(x)$ – СКЗ сигнала, измеренного на спинке в точке сердечника с координатой x;

$a_{СКЗ}(o)$ – СКЗ сигнала, принятого на спинке в точке, расположенной напротив излучающего зубца;

α – коэффициент затухания, $м^{-1}$, $\alpha = (0{,}53 \pm 0{,}2)$ $м^{-1}$;

$/x/$ – модуль расстояния от места приема сигнала до точки, лежащей напротив излучающего зубца, м.

Знание характера распространения звукового сигнала от зубцовой зоны к спинке сердечника статора позволяет сформулировать требования к количеству измерительных пьезоакселерометров, необходимому для контроля зубцовой зоны сердечника статора гидрогенератора, а также к оптимальному расстоянию между ними. Для надежного выявления дефектов каждый приемный акселерометр должен схватывать такой участок зубцовой зоны крайнего пакета, в котором сигнал, пришедший от любого зубца из этого участка, ослабляется не более чем на 10 дБ. Расстояние между двумя соседними ак-

селерометрами будет равно длине охватываемого участка и вычисляется по формуле

$$Z \leqslant \frac{0,23 \cdot A}{\alpha \cdot d},$$

где Z - максимально допустимое расстояние между двумя соседними приемниками (число зубцов между ними);

A - допустимое затухание сигнала на половине расстояния между приемниками, дБ (A = IO дБ для описываемой измерительной схемы);

α - коэффициент затухания, $м^{-I}$;

d - расстояние между соседними зубцами по периметру расточки статора, м.

Ниже приведен пример расчета максимально допустимого расстояния между двумя соседними приемниками.

Приняв среднее значение зубцового деления статора гидрогенератора d = 0,I м, получим:

$$Z \leqslant \frac{0,23 \cdot IO}{0,53 \cdot 0,I} = 43,4 \approx 43 \text{ зубца}.$$

Учитывая, что коэффициент α имеет статистический разброс, рассмотрим наихудший случай, когда $\alpha = 0,53 + 0,2 = 0,73\ м^{-1}$.

Тогда $Z \leqslant \frac{0,23 \cdot IO}{0,73 \cdot 0,I} = 3I,5 \approx 3I$ зубец.

Таким образом, в бесстыковых сердечниках акселерометры размещаются с шагом не более чем 3I зубец, а их количество $N_{БС}$ для каждого крайнего пакета определяется из условия:

$$N_{БС} \geqslant \frac{n}{3I},$$

где n - число зубцов одного из крайних пакетов.

Значение $N_{БС}$ округляется до первого целого числа в сторону увеличения.

В составном сердечнике количество акселерометров $N_{СТ}$ в каждом секторе определяется из условия:

$$N_{СТ} \geqslant \frac{n}{K \cdot 3I},$$

где K - число секторов сердечника, причем $N_{СТ}$ также округляется до целого числа, как и $N_{БС}$.

Как правило, устанавливаются по I8 акселерометров на каждом крайнем пакете с числом зубцов, не превышающим 558.

Измерения электрического напряжения на выходе пьезоакселерометра, пропорционального СКЗ виброускорения, производятся в двух режимах - холостого хода без возбуждения и холостого хода с номинальным возбуждением. Режим холостого хода без возбуждения используется в качестве опорного, так как в этом режиме акселерометры измеряют шумовой сигнал, возникновение которого не связано с колебаниями листов зубцов в связи с отсутствием вынуждающей силы. Возрастание виброакустического сигнала в режиме холостого хода с номинальным возбуждением определяется появлением магнитного поля, а значит и вынуждающей силы, и определяется техническим состоянием зубцовой зоны. Необходимость измерения a_{oi} и последующее деление a_{ni} на a_{oi} обусловлено следующей причиной. Коэффициент акустоэлектрического преобразования в точности равен коэффициенту передачи пьезоэлектрического акселерометра (паспортное значение) только в том случае, когда датчик плотно и всей поверхностью прилегает к поверхности исследуемого объекта. Поскольку прикрепление акселерометров к пакету статора осуществляется через крепежное приспособление в виде дюралюминиевой шайбы, наклеиваемой на пакет, реальный коэффициент передачи для каждого датчика сильно зависит от качества наклейки крепежной шайбы. Поскольку этот параметр не может быть проконтролирован, то коэффициент преобразования случаен и может меняться в пределах от нескольких процентов до паспортного значения коэффициента преобразования акселерометра. Поэтому невозможно проводить измерения только в режиме ХХН, так как измеренные значения в этом случае случайны и не могут сравниваться одно с другим. Способ, включающий измерения в режиме ХХО с последующим делением $a_н$ на $a_о$, устраняет последствия неопределенности коэффициента передачи, так как коэффициент передачи одинаков при измерениях в обоих режимах, а при делении уменьшается. Деление на $a_о$ производится в предположении, что шумовой сигнал в диапазоне 3000-I0000 Гц в режиме ХХО примерно равномерно распределен по периметру окружности сердечника. При измерениях следует использовать полосовой фильтр, не пропускающий частоты ниже 3 кГц и выше I0 кГц, поскольку в диапазоне до 3 кГц сосредоточена основная мощность шумовой помехи, которая может повлиять на результат измерения, осо-

бенно в режиме холостого хода без возбуждения. Верхняя частота полосы пропускания 10 кГц определяется границей линейности АЧХ пьезоакселерометров при выполнении условия $f_{PES} \geqslant 30$ кГц.

Приложение 3

ПОДГОТОВКА ГИДРОГЕНЕРАТОРА К ПРОВЕДЕНИЮ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Для установки пьезоэлектрических акселерометров необходимо на сердечнике статора гидрогенератора наклеить крепежные приспособления. Крепежные приспособления представляют собой цилиндрические шайбы из немагнитного металла (например, дюралюминия) с диаметром, на 2-3 мм превышающим диаметр рабочей площадки пьезоэлектрического акселерометра. Высота шайбы не менее 10 мм. В центре шайбы просверливается несквозное отверстие, в котором нарезается резьба М5 глубиной не менее 6 мм для ввинчивания крепежной шпильки пьезоакселерометра. Поверхность шайбы, на которой просверлено несквозное отверстие, должна быть плоской и не иметь выбоин. Противоположная поверхность, которая приклеивается к крайнему пакету, либо накатывается прямой накаткой, либо протачивается круговыми или параллельными канавками шириной и глубиной 0,5 мм. Возможны и другие варианты конструкции крепежной шайбы.

Крепежные шайбы следует наклеивать на спинку крайних пакетов эпоксидным клеем. Перед наклейкой место установки необходимо тщательно зачистить и обезжирить спиртом. Также тщательно обезжиривается шероховатая поверхность крепежной шайбы. Чтобы определить количество и местонахождение точек наклейки крепежных шайб в данном генераторе необходимо по формулам, приведенным в приложении 2, определить количество пьезоэлектрических акселерометров, минимально необходимое для проведения виброакустических испытаний генератора.

Закрепление пьезоэлектрических акселерометров на крепежных шайбах производить резьбовой шпилькой, входящей в комплект поставки акселерометра. Прилегание рабочей поверхности акселерометра к поверхности крепежной шайбы должно быть плотным. Поверхность крепежной шайбы должна быть чистой.

Присоединение антивибрационного кабеля к пьезоэлектрическому акселерометру осуществлять с помощью разъема на конце кабеля. Фиксация разъема должна быть плотной и надежной.

Свободный конец антивибрационного кабеля вывести за пределы камеры горячего воздуха, а в случае нехватки длины для вывода из охладителя подвязать к какому-либо элементу конструкции в камере горячего воздуха.

Приложение 4

ФОРМЫ ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТОВ

ПРОТОКОЛ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ № ___

Гидрогенератора №_____ ГЭС _____ от "___" _____ 19__ г.

Тип генератора

№ п/п.	Место измерения			Показания вольтметра				Примечание
	Охладитель №	Верх, низ	Левая, правая	Шкала	a_{XX0} мВ	Шкала	a_{XXH} мВ	
1								
2								
3								

ПРОТОКОЛ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ № _____

Гидрогенератор № _____ ГЭС _____ от "___" _____ 19___ г.

Тип генератора _____ $\bar{a}$ = _____

№ п/п.	Номер паза	Верх, низ	Показания вольтметра		a_i	a_i^*	Вероятность наличия расшатывания на участке
			a_{XX0} мВ	a_{XXH} мВ			
1							
2							
3							

ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ _____

ВЕРОЯТНОСТЬ НАЛИЧИЯ РАСШАТЫВАНИЯ P = _____

Приложение 5

ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ АППАРАТУРЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Признак неисправности	Возможная причина неисправности	Способ устранения
$a_{XXH} < a_{XXO}$	Недостаточная чувствительность используемых пьезоакселерометров.	Использовать пьезоакселерометры с бо́льшей чувствительностью.
	Измерения a_{XXO} проводились с выключенным фильтром.	Повторно провести измерения с включенным фильтром.
	Обрыв антивибрационного кабеля.	Заменить антивибрационный кабель.
	Слабо приклеена крепежная шайба.	Переклеить крепежную шайбу.
	Плохо привернут пьезоакселерометр.	Плотно прикрутить пьезоакселерометр.
	Не включено питание предусилителя.	Включить питание предусилителя и повторить измерения.
	Отсутствие какого-либо соединения в схеме.	Проверить схему измерений.
	Вышли из строя элементы питания предусилителя.	Заменить элементы питания.
	Неисправен пьезоакселерометр.	Заменить пьезоакселерометр.
	Не соблюден тепловой режим ($t_H^\circ > t_O^\circ$)	Соблюдать тепловой режим (см.пп.2.5.3 и 2.7)
Сильное дрожание стрелки прибора, броски стрелки	Обрыв антивибрационного кабеля.	Заменить кабель.
	Плохой контакт в разъемах.	Проверить все соединительные разъемы.
	Неисправен пьезоакселерометр.	Заменить пьезоакселерометр.
	Обрыв в схеме предусилителя или фильтра.	Проверить схему предусилителя и фильтра.
	Неисправен шумомер.	Заменить шумомер.
	Не соблюден тепловой режим.	Соблюдать тепловой режим (см.пп.2.5.3 и 2.7).

Окончание приложения 5

Признак неисправности	Возможная причина неисправности	Способ устранения
	Имеется источник постороннего шума, например "хлопает" незакрытая дверь охладителя.	Выявить источник постороннего шума и устранить
	Сильные электромагнитные наводки	Выяснить причину и заземлением, и экранированием устранить влияние наводок
Прибор показывает значение, меньшее минимально допустимого (см. пп.2.5.5, 2.6.2)	Плохо прикручен пьезоакселерометр.	Плотно прикрутить пьезоакселерометр.
	Недостаточная чувствительность датчика.	Использовать пьезоакселерометр с бо́льшей чувствительностью.
	Слабо приклеена крепежная шайба.	Переклеить крепежную шайбу.
	Вышли из строя элементы питания автономного прибора.	Заменить элементы питания прибора.
	Неисправен пьезоакселерометр	Заменить пьезоакселерометр
Измерительный прибор не калибруется	Прибор не исправен.	Заменить измерительный прибор.
	Вышли из строя элементы прибора.	Заменить элементы питания.
	Неправильно проводится калибровка	Провести калибровку в соответствии с инструкцией
Прибор во всех точках показывает одно и то же значение	Прибор не исправен.	Заменить прибор.
	Вышли из строя элементы питания.	Заменить элементы питания.
	К входному гнезду измерительного прибора не подключен сигнальный шланг.	Подключить сигнальный шланг.
	Обрыв в измерительной схеме.	Найти обрыв и устранить.
	Плохой контакт в разъемах.	Проверить все соединительные разъемы
Стрелка прибора реагирует на движение прибора	Обрыв в схеме.	Найти и устранить обрыв.
	Плохой контакт в разъемах	Проверить все соединительные разъемы

РЕШЕНИЕ № 3 - 4/88

г.Москва 4 апреля 1988 г.

О ВВЕДЕНИИ В ДЕЙСТВИЕ "МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРЕССОВКИ ЗУБЦОВ КРАЙНИХ ПАКЕТОВ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРА"

Главное научно-техническое управление энергетики и электрификации настоящим Решением утверждает "Методические указания по проведению виброакустических испытаний для оценки состояния прессовки зубцов крайних пакетов сердечника статора гидрогенератора" и предлагает:

1. Руководствоваться настоящими Методическими указаниями всем организациям, проводящим виброакустические испытания гидрогенераторов.

2. Проводить виброакустические испытания гидрогенераторов с привлечением специализированных организаций.

3. Сообщать о результатах виброакустических испытаний гидрогенераторов ВНИИЭ (II5201, Москва, Каширское шоссе, д.22, корп.3).

С выходом настоящих Методических указаний отменяется Решение № Э-3/85 и "Методические указания по проведению виброакустических испытаний для оценки состояния прессовки зубцов крайних пакетов сердечника статора гидрогенератора". МУ 34-70-092-85 (М.: СПО Союзтехэнерго, 1985).

Заместитель начальника
Главтехуправления К.М.АНТИПОВ

gost.e-ecolog.ru