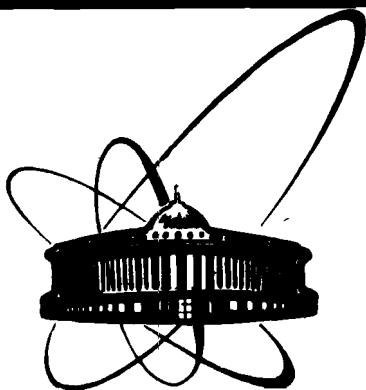


89-199



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

Б 733

9-89-199

В. А. Богач, А. Т. Василенко, Л. М. Онищенко

**О КРИТЕРИЯХ ВИБРОДИАГНОСТИКИ
ВАРИАТОРА ЧАСТОТЫ ФАЗОТРОНА**

1989

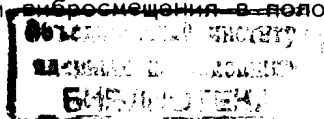
Вариатор частоты представляет собой электрический конденсатор переменной емкости, вращающийся в вакууме. Он состоит из двух соосных горизонтально расположенных роторов длиной по 1700 мм и массой по 1500 кг, соединенных друг с другом промежуточным валом длиной 1000 мм. Роторы установлены в вакуумном кожухе на шариковых подшипниках №222. Вариатор приводят во вращение два электродвигателя постоянного тока мощностью по 43 кВт, соединенные с наружными концами валов роторов. Скорость вращения может регулироваться и достигать 3000 об/мин. Роторы находятся под постоянным напряжением до 4 кВ и под высокочастотным напряжением (14,5÷18 МГц) - до 2 кВ. Более подробно конструкция вариатора фазотрона описана в^{1/1}.

Необходимость контроля вибраций и вибродиагностики вариатора вызвана тем, что конструкция этой уникальной установки требует доводки, а шариковые подшипники размещены в вакууме. Ввиду этого смазка подшипников может осуществляться только высоковакуумным маслом, смазочные свойства которого не оптимальны. Ресурс подшипников в этих условиях оказался невелик, и система виброконтроля была предназначена для исключения возникновения аварийной ситуации.

При создании этой системы были предусмотрены дистанционные виброконтроль и вибродиагностика во время работы фазотрона в сочетании с проведением измерений при отключенном фазотроне непосредственно на вариаторе. Схема виброконтроля и вибродиагностики фазотрона показана на рис. 1.

Для указанных целей была приобретена и смонтирована комплектная аппаратура фирмы "Брюль и Кьер"/Дания/. В ее составе имеются радиационно-стойкие датчики типа 5848, предварительные усилители заряда WB0693, источники питания WB0498, двухканальные мониторы 2505/WH-0299, коммутатор 2514, узкополосный анализатор в реальном времени 2033, цифровой регистратор 2313, цифровой магнитофон 7400 и самописец 2307 для стационарного комплекса непрерывного дистанционного контроля, а также переносная аппаратура для непосредственных измерений на вариаторе: виброметр в комплекте 3517, самописец 2317, аналоговый магнитофон 7005, калибратор 4291 и вспомогательные приборы. Перечисленная аппаратура описана в^{2-3/}.

Стационарный комплекс обеспечивает непрерывный круглосуточный контроль среднеквадратичного значения по выбору: виброскорости, виброускорения и вибросмещения в полосе частот от 10 до



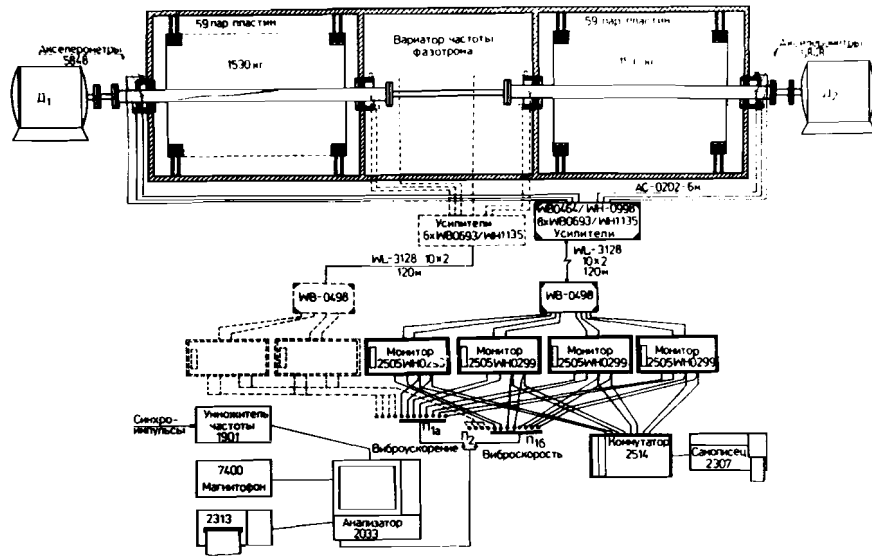


Рис. 1. Схема виброконтроля и вибродиагностики фазотрона.

1000 Гц. При этом контролируются два пороговых значения: предупредительное и аварийное. Превышение заданных значений вызывает срабатывание соответствующих реле, которые включены в схему управления и сигнализации электродвигателей.

По 3 датчика установлено непосредственно на втулках опор роторов вариатора, в которые запрессовываются наружные кольца подшипников, для измерения трех ортогональных компонент: вертикальной радиальной, горизонтальной радиальной и горизонтальной аксиальной. Так как при работе фазотрона эти втулки находятся под электрическим потенциалом, датчики установлены на изолирующих пластинах из стеклотекстолита толщиной 20 мм, форма и натяг которых подобраны так, чтобы свести к минимуму искажение формы вибросигналов и, следовательно, уменьшить искажение спектров, особенно в области высоких частот. Кроме того, во избежание наводок от высокочастотного поля применены датчики с изолированным симметричным выходом и постоянно подключенным кабелем АС-0202 длиной 6 метров с неорганической изоляцией в оболочке из нержавеющей стали. В настоящее время датчики установлены только в атмосфере на двух наружных опорах вариатора. Разработана и изготавливается новая конструкция втулок внутренних опор вариатора, находящихся в вакууме, что позволит контролировать вибрации на этих опорах.

Предварительные усилители размещены вблизи датчиков в экранированной коробке, защищенной от радиации, и через многожильный кабель длиной 160 метров подключены к контролируемым точкам. В настоящее время действует 6 каналов. Предполагается довести их число до 12. При возрастании вибросигнала в любом из каналов до аварийного значения происходит аварийное отключение электродвигателей. Для предотвращения ложных отключений мониторы имеют задержку во времени до срабатывания реле отключения, регулируемая в диапазоне от 1 до 100 с. В составе мониторов имеются также стрелочные индикаторы среднеквадратичного значения вибропараметра в полосе частот $10 \div 1000$ Гц и предусмотрена возможность вести запись вибропараметров уровней по всем каналам через коммутатор 2514 на самописец 2307. Это обеспечивает контроль тренда в процессе эксплуатации.

Помимо непрерывного виброконтроля к мониторам можно поочередно подключать узкополосный анализатор 2033 для анализа и записи через 2313 и 7400 спектров виброускорения в полосе частот $1 \div 20000$ Гц и виброскорости в полосе частот $10 \div 1000$ Гц. Это позволяет осуществлять вибродиагностику вариатора, контролируя состояние его систем и узлов, в первую очередь подшипников.

Сразу после очередного ремонта вариатора по всем стационарным каналам производится запись сигналов виброускорения и виброскорости магнитофоном 7005 на ленту и с помощью 2033 и 2313 — на бумагу. Записываются также усредненные спектры в полосе частот до 20 Гц, 5 кГц и 20 кГц. Кроме того, аналогичные исходные данные записываются при отключенном фазотроне непосредственно на вариаторе с помощью виброметра 2511.

В дальнейшем диагностика производится путем наблюдения за изменениями в спектрах. По мере износа узлов вариатора в процессе работы спектры вибраций заметно меняются. Уменьшаются амплитуды одних гармоник, возрастают амплитуды других. В целом наблюдается весьма сложная картина, т.к. в кинематике ротора много степеней свободы. Возможность диагностики конкретной неисправности определяется знанием соответствующих ей изменений в спектре. Поэтому нами рассчитаны основные и комбинационные частоты подшипников, проводится сопоставление обнаруживаемых при разборке неисправностей со спектрами, накапливается банк данных по вибрациям. Для примера на рис. 2, 4, 6 и 8 приведены кривые, снятые после монтажа нового подшипника, а на рис. 3, 5, 7 и 9 — кривые, снятые после 2000 часов его работы. При их анализе учитывались результаты, изложенные в /6-9/. Кроме того, производилось сопоставление с методом А.Штурма диагностики подшипников качения, предложенным в /10/, что показало его достоинства и целесообразность изучения возможностей его приме-

нения. Не исключено, что в дальнейшем этот критерий может быть стандартизован. Импульс на рис. 2 обусловлен перекосом подшипника при его монтаже и, как можно предположить, значительной разноразмерностью шариков. В процессе работы произошла обкатка шариков и выработка беговой дорожки /см. рис. 10/, и сигнал с вибродатчиков существенно изменился, как показано на рис. 3. Видно, что импульс исчез, но значительно возросла амплитуда вибраций.

Для более детального диагностирования используются спектры. На рис. 4 и 5 показаны изменения спектров в полосе частот до 5 кГц. За 2000 часов работы возросло число гармоник и увеличилась их амплитуда.

Амплитуда пика в области $850 \div 900$ Гц, который соответствует резонансной частоте наружного кольца подшипника, выросла более чем на 20 дБ. Это можно объяснить ударами шариков по выбоинам на кольце /рис. 10/.

Аналогичная картина предстает при сопоставлении рис. 6 и 7, где изображены спектры в полосе частот до 20 кГц. На них хорошо видно возрастание амплитуд гармоник в области высоких частот. Однако следует заметить, что при остановке ряда серийных подшипников без их предварительного отбора характер спектра в области высоких частот сильно изменяется, и диагностику пока приходится вести путем сопоставления изменений спектров конкретного подшипника в процессе работы. На рис. 8 и 9 показаны спектры в области частот до 200 Гц, причем частота вращения ротора была 23, 33 Гц. Рассчитанные частоты составляют для сепаратора - 9,52 Гц, шариков - 61,41 Гц, мелькания шариков по наружному кольцу - 95,2 Гц, мелькания шариков по внутреннему кольцу - 138 Гц. Обращает на себя внимание пик в районе 14 Гц, принадлежащий, по-видимому, разностной частоте между оборотной частотой и сепараторной. Хорошо видно исчезновение множества пиков, видимо, обусловленных поверхностными шероховатостями в новом подшипнике. Однако для надежного диагностирования состояния подшипников необходимо дальнейшее накопление информации о различных неисправностях. Причем необходимо иметь в виду, что каждая неисправность характеризуется серией спектральных линий разных амплитуд.

В дальнейшем предполагается развить систему вибродиагностики путем увеличения числа точек контроля и приобретения дополнительной аппаратуры. За период эксплуатации системы выявлены некоторые спектральные признаки перекоса подшипников, проворачивания подшипниковых колец на шейке вала, повышенного износа подшипниковых колец.

Однако для полной идентификации наблюдаемых изменений спектров необходимо выполнить значительный объем работ по изучению вибраций узлов вариатора, что в условиях действующего фазотрона

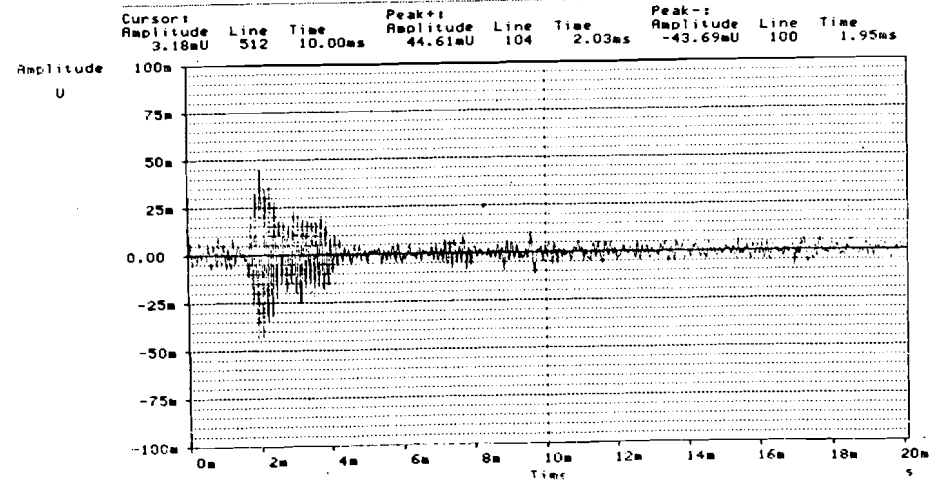
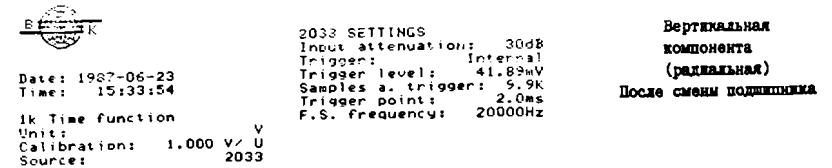


Рис. 2

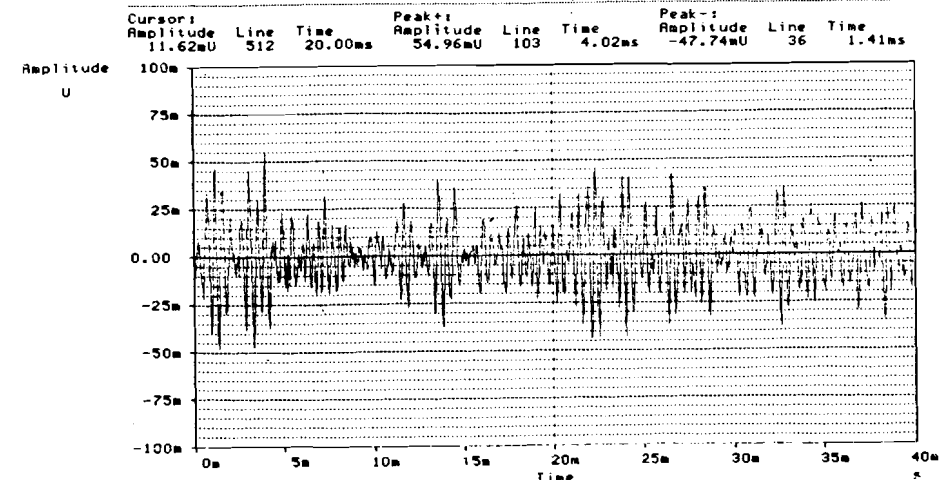
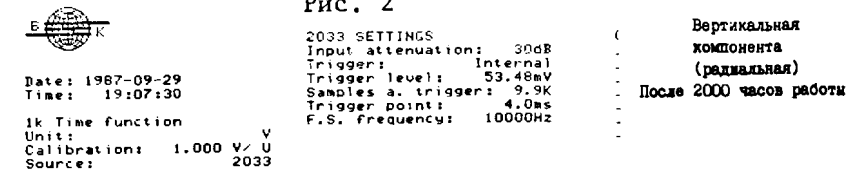
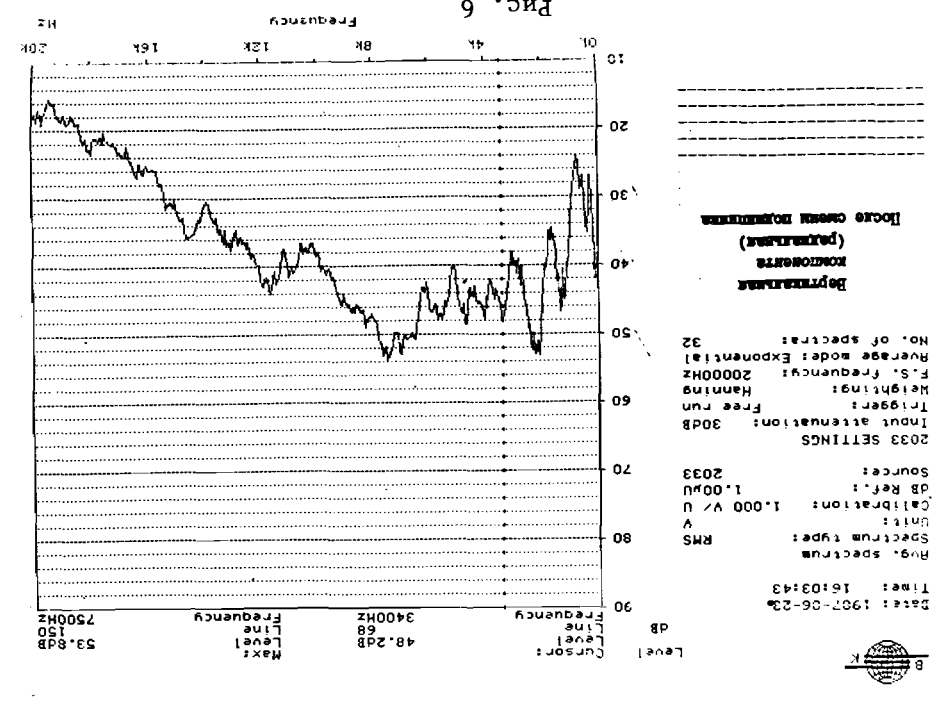
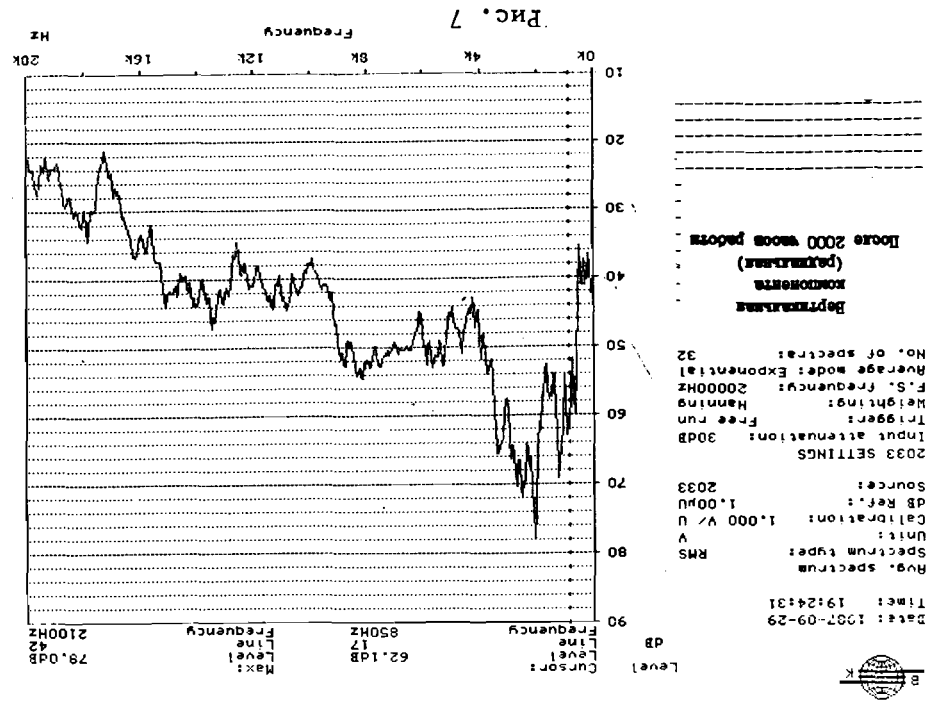
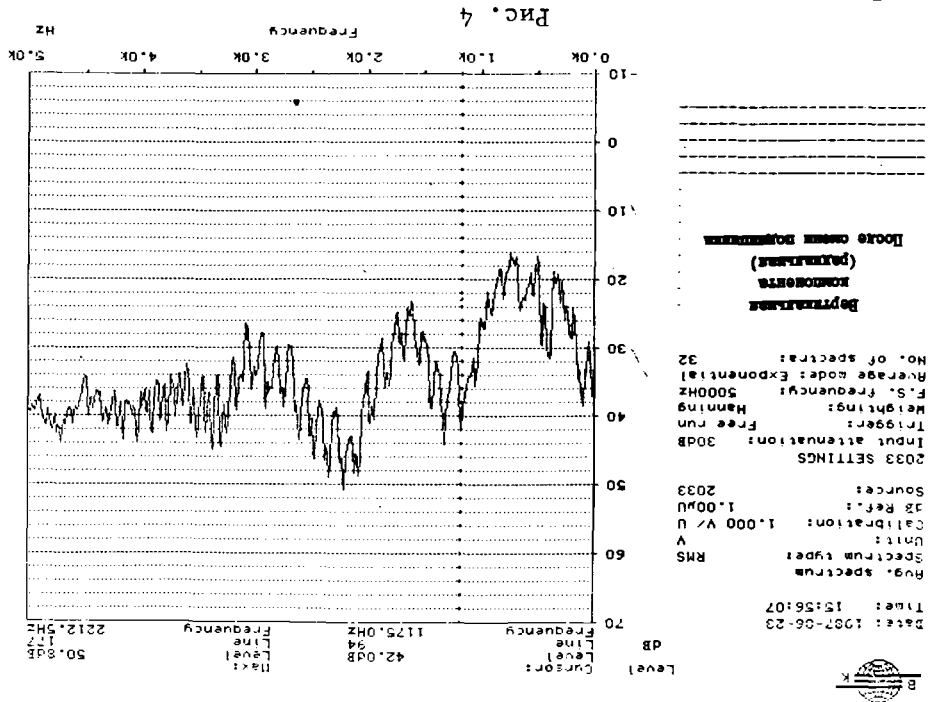
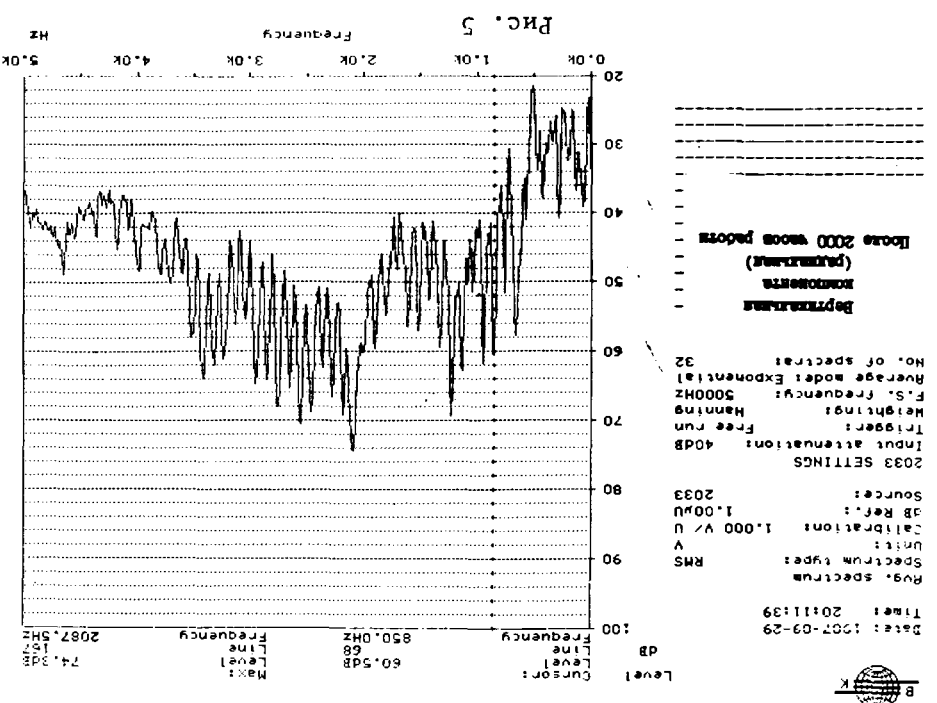


Рис. 3





Date: 1987-05-23
Time: 15:47:15

Aug. spectrum
Spectrum type: RMS
Unit: V
Calibration: 1.000 V / U
dB Ref.: 1.00µU
Source: 2033

2033 SETTINGS
Input attenuation: 30dB
Trigger: Free run
Weighting: Hanning
F.S. frequency: 200Hz
Average mode: Exponential
No. of spectra: 32

Вертикальная
компонента
(радиальная)
После сдвига подшипника

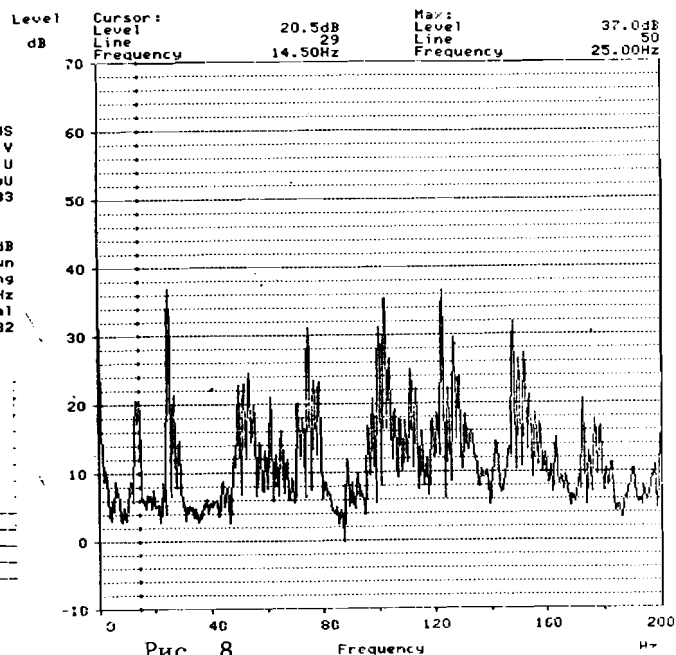


Рис. 8



Date: 1987-09-29
Time: 19:37:04

Aug. spectrum
Spectrum type: RMS
Unit: V
Calibration: 1.000 V / U
dB Ref.: 1.00µU
Source: 2033

2033 SETTINGS
Input attenuation: 30dB
Trigger: Free run
Weighting: Hanning
F.S. frequency: 200Hz
Average mode: Exponential
No. of spectra: 32

Вертикальная
компонента
(радиальная)
Ускорение
После 2000 часов работы

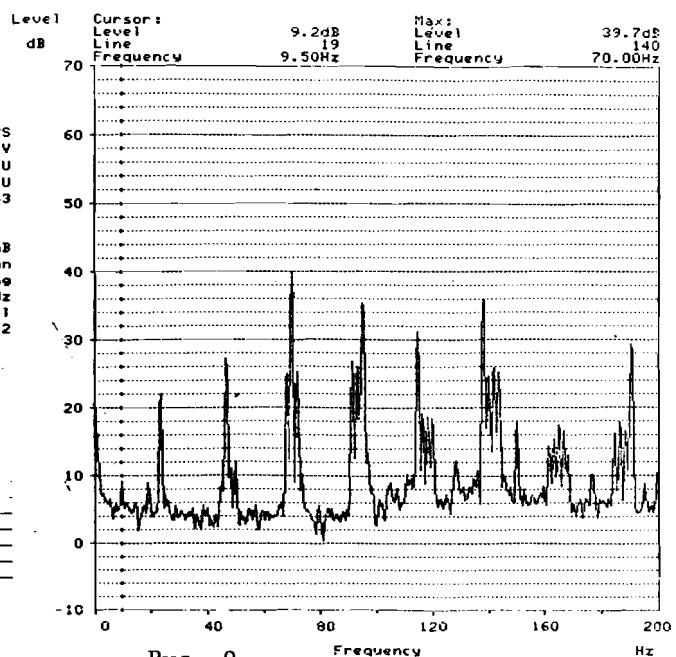


Рис. 9

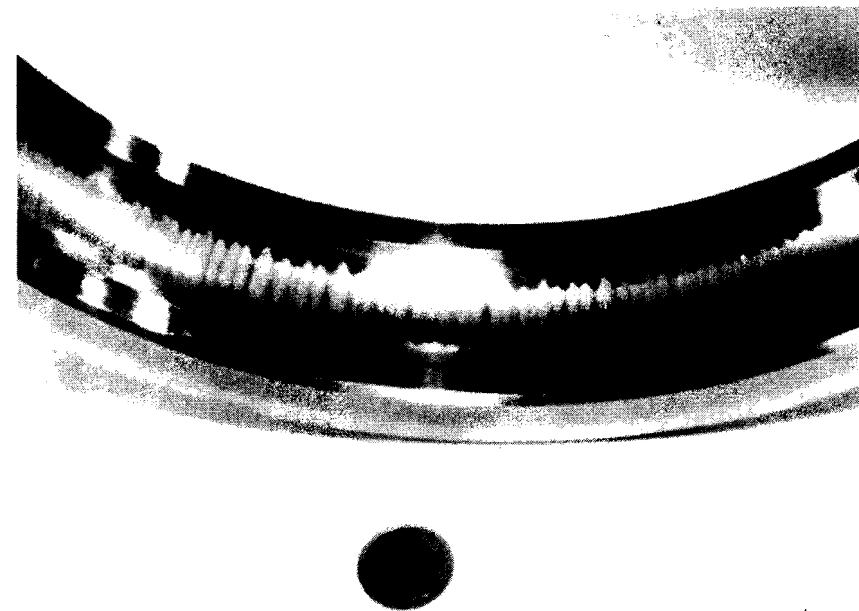


Рис. 10

не всегда возможно. По-видимому, необходимо также расширить арсенал применяемых методов обработки вибросигнала, например перейти к получению кепстров, для чего потребуется дополнительная аппаратура.

Проводятся также мероприятия по устранению несоосности и излома линии валов, улучшению балансировки с последующей записью вибропараметров. Что же касается признаков выработки ресурса работы подшипников, то при возрастании СКВ-уровня виброскорости 0,4 мм/с вначале до 1,4 мм/с, а также пиков виброскорости в спектре на 25 ÷ 30 дБ износ колец подшипников оказывался недопустимо большим. Это показано на рис. 10. Исходя из этого, по-видимому, можно прогнозировать выработку ресурса подшипников по возрастанию СКВ-уровня виброскорости по отношению к начальному в 2 ÷ 2,5 раза и по увеличению отдельных пиков в спектре на 15 ÷ 20 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваулина И.Г. и др. - В сб.: Труды 3-го Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т.2. М.: Наука, 1973, с.262.

2. Broch T. - Mechanical Vibration and Shock Measurements, 1984.
3. Серридж М., Лихт Т. - Справочник по пьезоэлектрическим акселерометрам и преусилителям. Брюль и Кьер, Дания, 1987.
4. Bruel & Kjaer. Technical Review. No.1, 1987.
5. Bruel & Kjaer. Cepstrum Analysis and Gearbox Fault Diagnosis.
6. Bruel & Kjaer. Vibration Measurement a Key to Advanced Maintenance Techniques. No. 7235-13.
7. Bruel & Kjaer. Permanent Vibration Monitoring. BG 0250-11.
8. Bruel & Kjaer. Machine Condition Monitoring Using Vibration Analysis.
 - a) A Case Study from a Petrochemical Plant. BO 0163-11.
 - b) A Case Study from Iron Ore Mine. BO 0178-11.
 - c) A Case Study from a Nuclear Power Plant. BO 0209-11.
9. Randall R., Tech B. - Frequency Analysis, 1987.
10. Sturm A. u.a. - Walzlagerdiagnostik fur Maschinen und Anlagen. Berlin, 1985.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 апреля 1989 года.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.