



Индикатор ресурса ПОДШИПНИКА ИРП-12

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

ИРП-12 производства компании ЗАО «Меткатом»

Предназначен для контроля технического состояния подшипника качения на основе акустической эмиссии в диапазоне ультразвуковых частот 20-300 кГц работающего подшипника.

Виды проверки:

- степень износа подшипников в режимах экспресс контроля
- наличие смазки в подшипниковых узлах
- правильность сборки подшипниковых узлов при изготовлении и ремонте

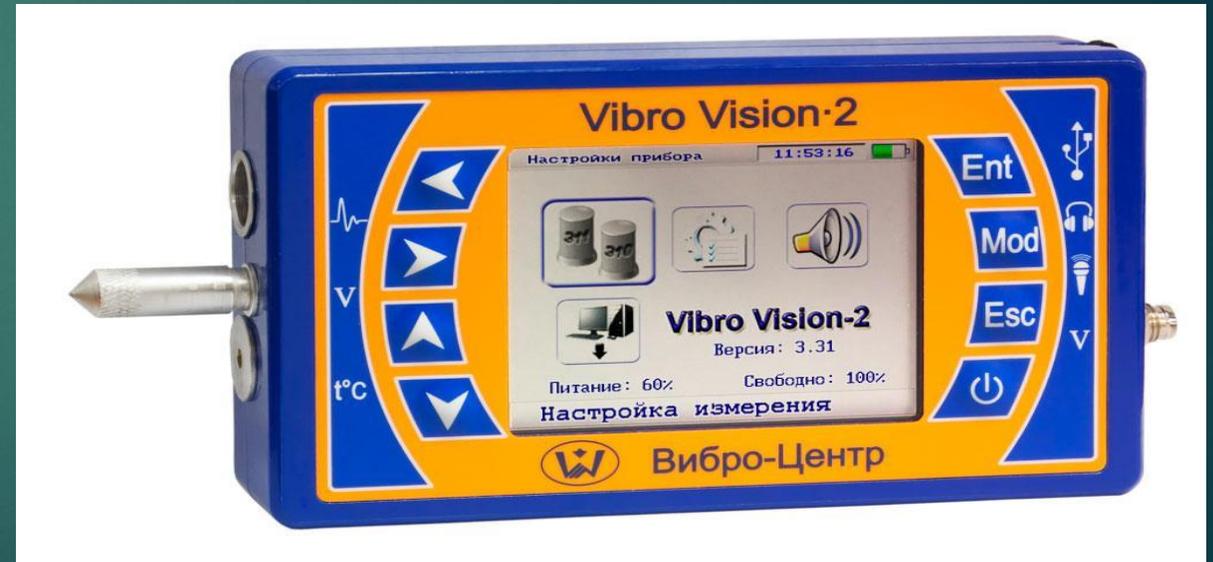


Основные характеристики прибора:

Прибор состоит из:

- Пьезоэлектрический датчик
- Присоединительный кабель со штекером
- Измерительный блок
- Алюминиевый корпус

На корпусе измерительного блока имеется гнездо, кнопка «включено - выключено», кнопка ПИК для фиксации наибольших показаний на дисплее, отсек источников питания с крышкой. Масса прибора (без источника питания) не более 0,4 кг.



Зарубежный и модифицированный аналоги ИРП-12

Функциональная схема устройства и принципа работы ИРП-12

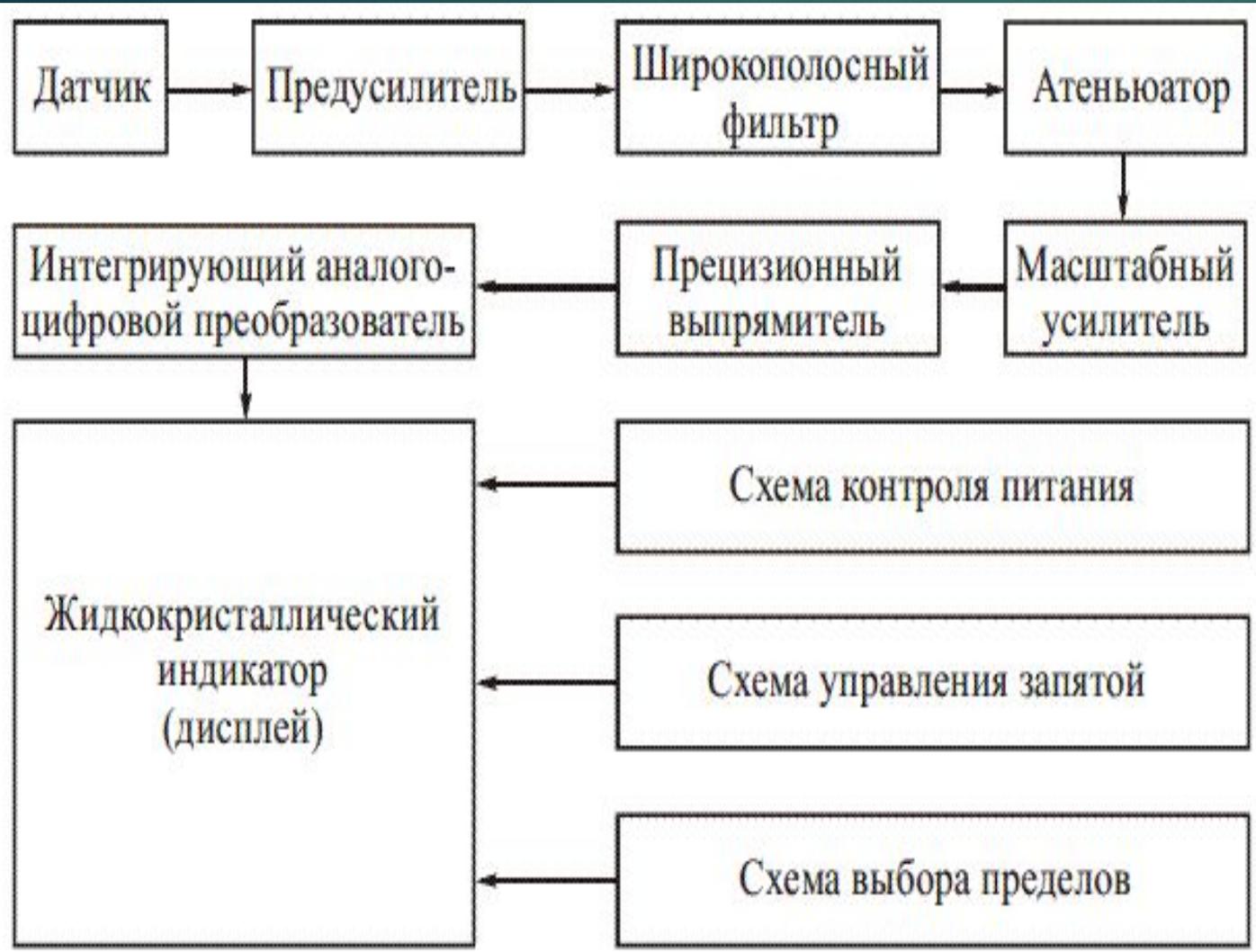


Схема обеспечивает обработку ультразвуковых сигналов от дефектов всех частей подшипника и оценку их совокупного значения в виде обобщенного критерия степени износа подшипника в балльной форме. Критерии степени износа подшипников в цифровой форме выводятся на дисплей. Оценка состояния износа определяется путем сравнения фактического показания дисплея при проверке технического состояния подшипника с данными, полученными экспериментально по различным дефектам якорных подшипников.

Результаты испытания ИРП-12 на Октябрьской железной дороге

В 2000 году на Октябрьской железной дороге проводились испытания прибора для последующего внедрения его в число прочих средств диагностики подвижного состава. Условия испытания:

- Локомотив вывешивался в стойле на домкратах, на ТЭД подавалось напряжение
- Колесная пара с редуктором устанавливалась на стенд обкатки
- ТЭД испытывали на стенде испытательной обкатки

В процессе датчик-приемник ультразвуковых колебаний прикладывался к наружным частям работающих подшипниковых узлов. При этом на экране прибора высвечивались цифры, характеризующие уровень ультразвукового сигнала.



В результате испытаний было установлено

Прибор позволяет надежно определить следующие неисправности подшипниковых узлов:

- Дефекты смазки (недостаток, наличие продуктов износа)
- Дефекты монтажа подшипниковых узлов, приводящие к снижению его ресурса
- Дефектность подшипника согласно инструкции

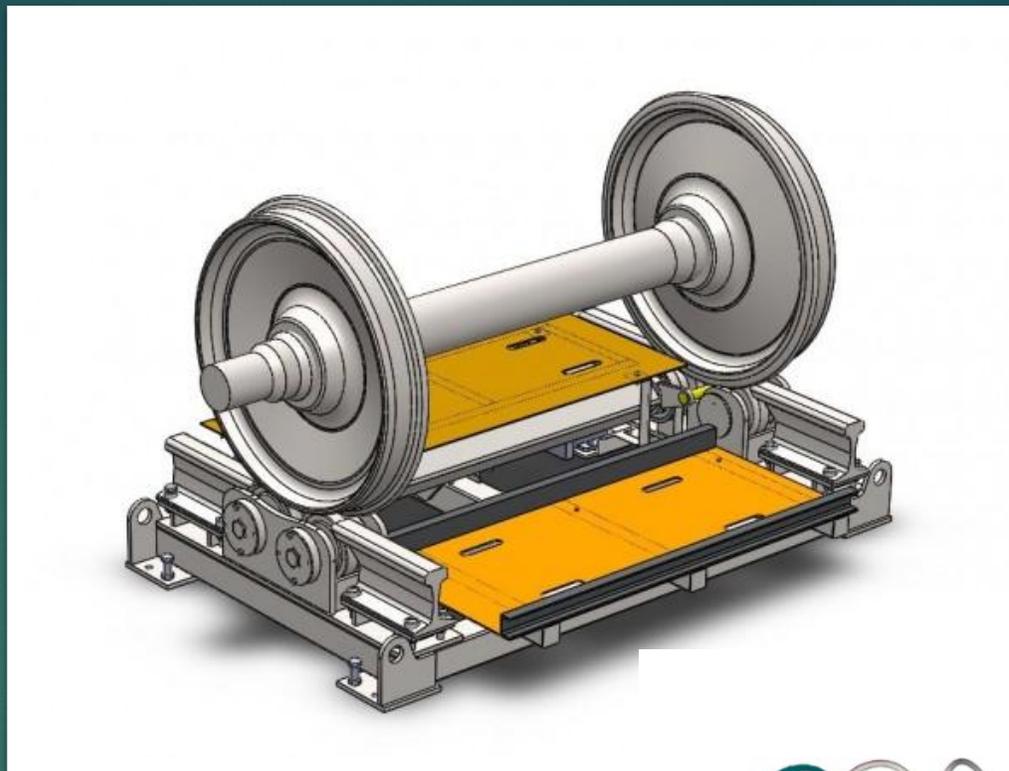
Испытания показали, что существует принципиальная возможность при текущих ремонтах не разбирать примерно 30% буксовых узлов.



Важным условием, обуславливающим надежную работу подшипника, является посадка внутреннего кольца на вал с гарантированным натягом. Невыполнение этого условия приводит к тому, что при максимальном натяге внутренних колец на валах радиальный зазор может отсутствовать и возможно появление преднатяга в подшипнике. В этих случаях он греется, изнашивается, происходит разрушение сепаратора и заклинивание подшипника. Также следует учитывать, что на величину потерь трения и на тепловой режим подшипника весьма сильно влияет степень заполнения корпуса при постоянном объеме смазки. Избыток смазки так же, как и ее недостаток, всегда вызывает нагрев подшипников.

Особенности применения

- ИРП-12 работает в диапазоне частот 20-300 кГц
- Сигнал, характеризующий состояние узла, снимается с наружной поверхности корпуса подшипника широкополосным пьезоэлектрическим датчиком (прижатым к поверхности вручную с использованием контактной жидкости или при помощи магнитного крепления усилием 50-60 Н)
- Минимальное число оборотов 5 об/мин, максимальное - не ограничено
- Время диагностирования одного узла до 1 минуты



Модификация прибора допускает совмещение с программным обеспечением на базе ОС Windows



- Сигнал выводится на дисплей в обобщенных единицах-баллах, которые зависят от составляющих:

$$D = C_k \cdot f(n) \cdot f(d) \cdot f(p) \cdot f(sm) \cdot f\left(\frac{Q_H}{Q_q}\right)$$

Где D-показания диагностического прибора

C_k -постоянная, зависящая от точки приложения датчика и конструктивных особенностей диагностируемого узла

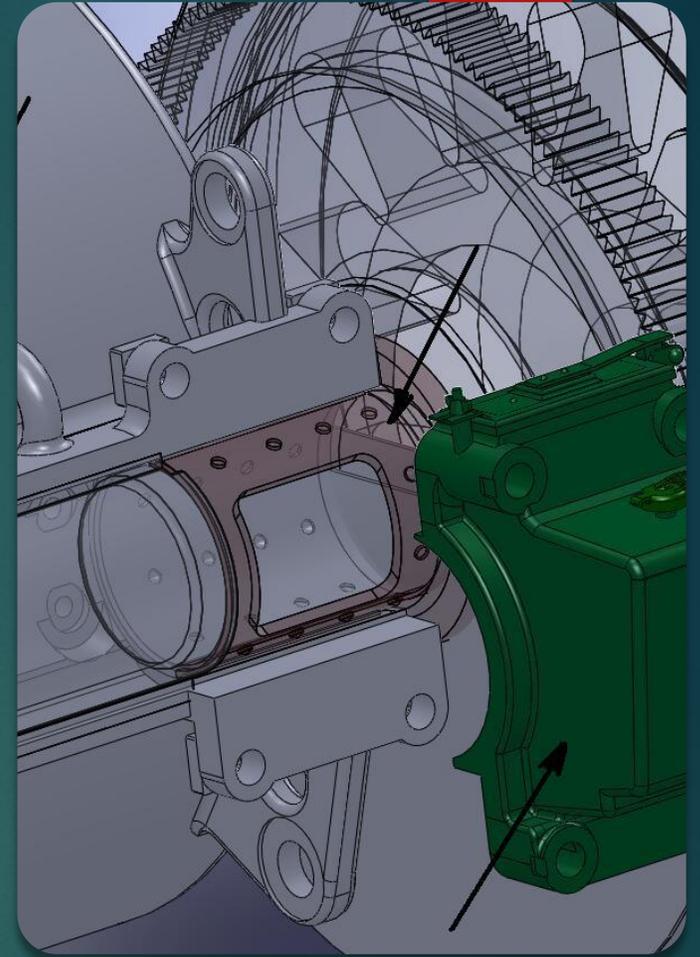
$f(n)$ -функциональная зависимость частоты вращения узла в момент диагностики

$f(d)$ -функциональная зависимость параметров узла (тип подшипника, наружные и внутренние диаметры колец, число, диаметр, угол контакта тел качения, тип и геометрические параметры сепаратора)

$f(p)$ -функциональная зависимость влияния дополнительных устройств, установленных на подшипниковых узлах, на диагностику (скоростемеры и осевые датчики, коллекторы ТЭД и др.)

$f(sm)$ -функциональная зависимость применяемой смазочной композиции узла n (учитывает тип применяемой смазки и ее эффективность)

$f\left(\frac{Q_H}{Q_q}\right)$ -функция отношения номинальной (расчетной) нагрузки узла к фактической на момент диагностики (учитывает изменение условий работы подшипникового узла при вывешивании локомотива для выполнения диагностики)



Использование прибора.

Методика использования приборов ИРП-12 для диагностики состояния моторно-осевых подшипников довольно проста. Поскольку происходит исследование шума (вибраций) работающего подшипника, то не создавая дополнительных воздействий мы можем получить необходимые данные без дополнительных усилий.

Объект: моторно – осевой или подшипник качения вала тягового двигателя и любого другого агрегата.

Метод: акустическая эмиссия (пассивная вибро-диагностика)

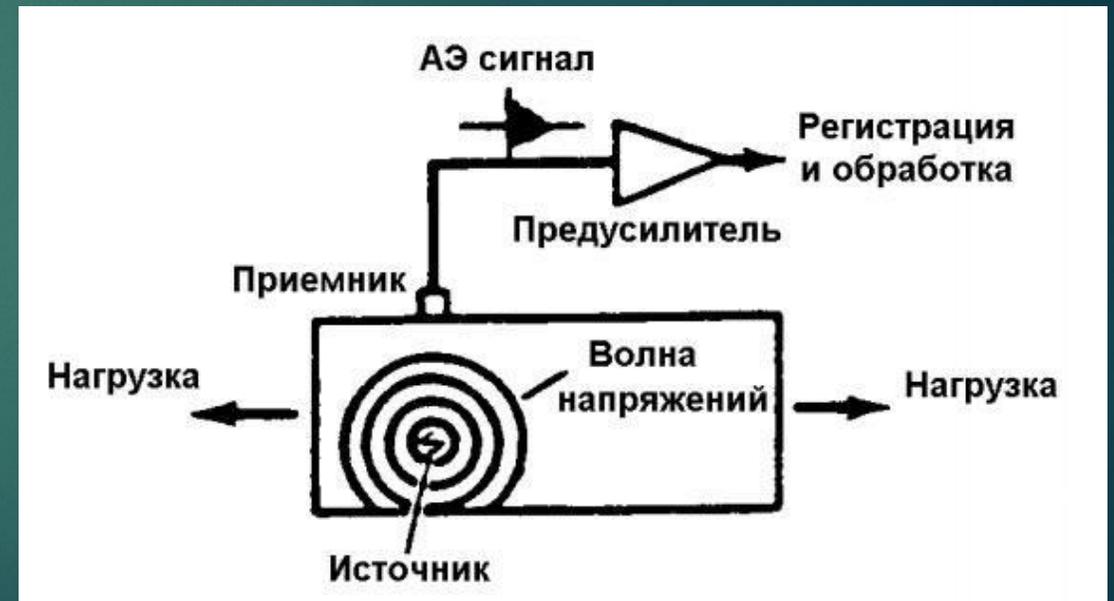
Амплитудой своей частотной составляющей шарик или дорожка подшипника оповещают о наличии в них дефектов. Задача прибора - принять и обработать вибрационный сигнал, дело специалиста - оценить меру опасности.

Для повышения ресурса и надежности ответственного оборудования необходима точная система диагностирования текущего технического состояния подшипников качения. Широкое распространение во всем мире получили методы контроля и диагностики, базирующиеся на измерении параметров вибрации. Теория и практика анализа вибросигналов к настоящему времени столь отработана, что можно получить достоверную информацию о текущем техническом состоянии не только подшипника, но и его элементов.

О методе.

- ▶ **Акустическая эмиссия** представляет собой явление генерации волн напряжений, вызванных внезапной перестройкой в структуре материала. Классическими источниками АЭ является процесс деформирования, связанный с ростом дефектов, например, трещины или зоны пластической деформации.

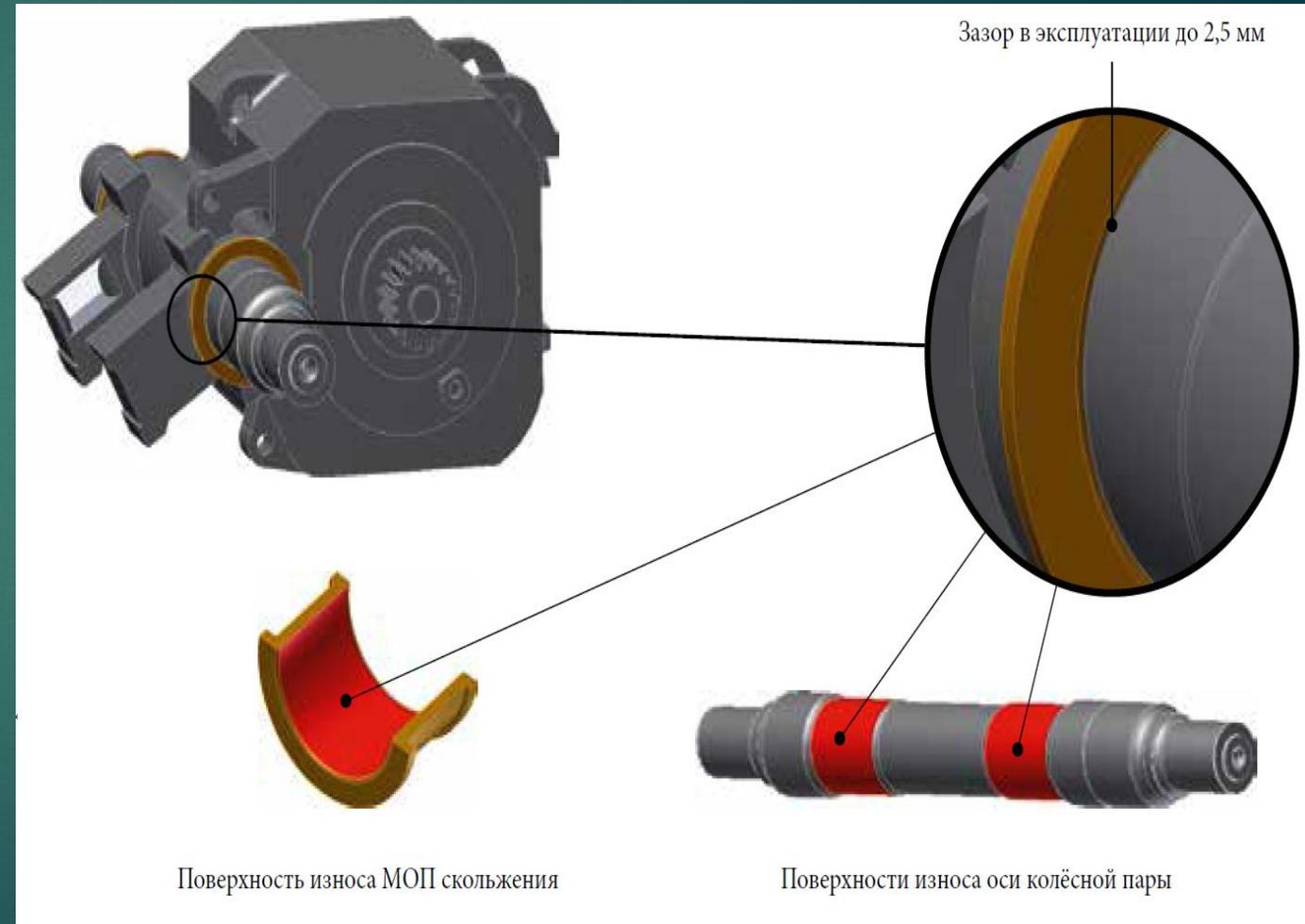
Акустическая эмиссия отличается от большинства методов неразрушающего контроля в двух ключевых аспектах. Во-первых, источником сигнала служит сам материал, а не внешний источник, т.е. метод является пассивным (а не активным, как большинство других методов контроля). Во-вторых, в отличие от других методов АЭ обнаруживает движение дефекта, а не статические неоднородности, связанные с наличием дефектов, т.е. АЭ обнаруживает развивающиеся, а потому наиболее опасные дефекты.



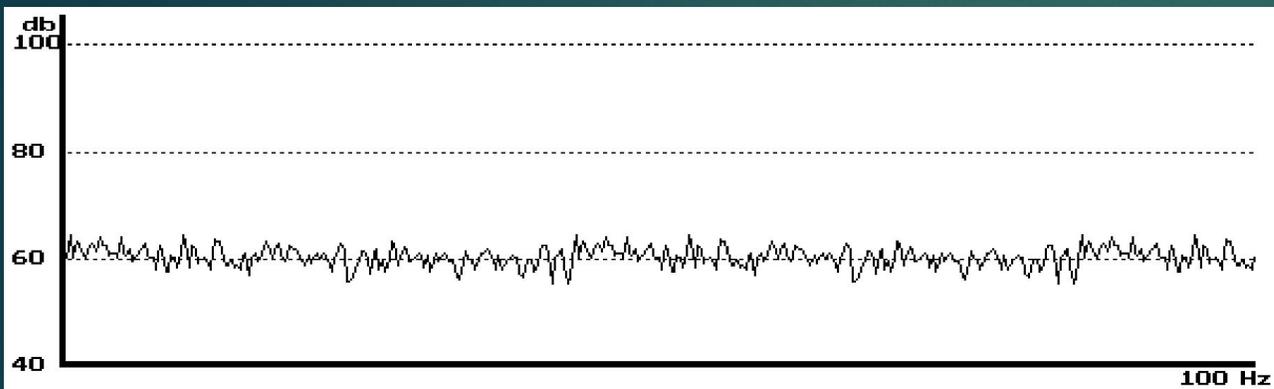
Источники измеряемого сигнала.

Основные источники формирования акустико-эмиссионного сигнала в ультразвуковом диапазоне частот эксплуатируемого подшипникового узла:

- ▶ Упругие волны от нормальных и касательных напряжений пятен контакта в поверхностных слоях тел и дорожек качения при вращении от действующих нагрузок и чисел оборотов;
- ▶ Микроудары вследствие шероховатости поверхности тел и дорожек качения, усиливающиеся из-за коксования масла и наличия продуктов износа;
- ▶ Гидродинамические эффекты от смазки в зоне контактных напряжений тел качения с дорожками качения;
- ▶ Импульсивный сигнал от образования трещин в металле тел качения;
- ▶ Микротрещины наружного кольца в гнезде корпуса;
- ▶ Износ посадочных мест подшипника, сопровождаемый скользящими перемещениями поверхности колец относительно посадочных мест;



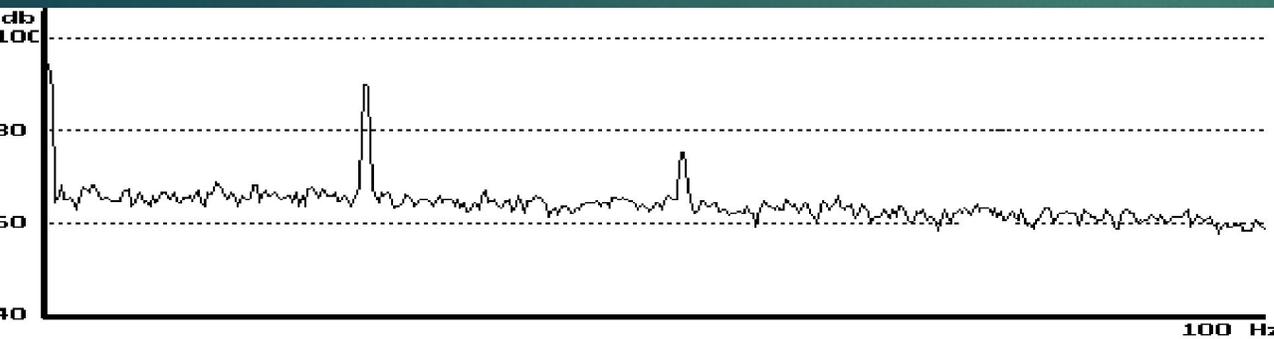
- ▶ Графически виброакустический сигнал представляется в виде спектра частот вибраций вызванных работой всего колесно-моторного блока



Спектр подшипника без дефекта.



Износ дорожки качения



Спектр подшипника с дефектом.

Чем выше амплитуда сигнала, тем сильнее проявляется дефект на исследуемых частотах.



- ▶ Перед началом использования убедиться в исправности прибора, проверить целостность кабеля и работоспособность датчика.
- ▶ Объект исследования (например тяговый двигатель) установить на специальный стенд.
- ▶ Обработать поверхность области контакта датчика и двигателя в которой будет проводиться исследование.

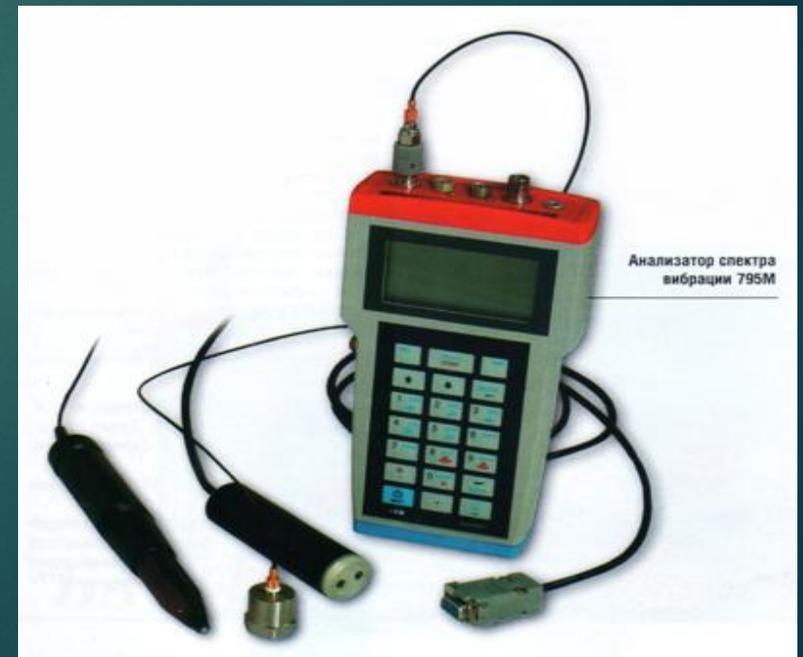


Кроме прибора ИРП-12 для диагностирования дефекта подшипников возможно использование ряда других приборов, схожих по принципу действия и виду снимаемого сигнала.



77Д11 - индикатор вибродиагностический

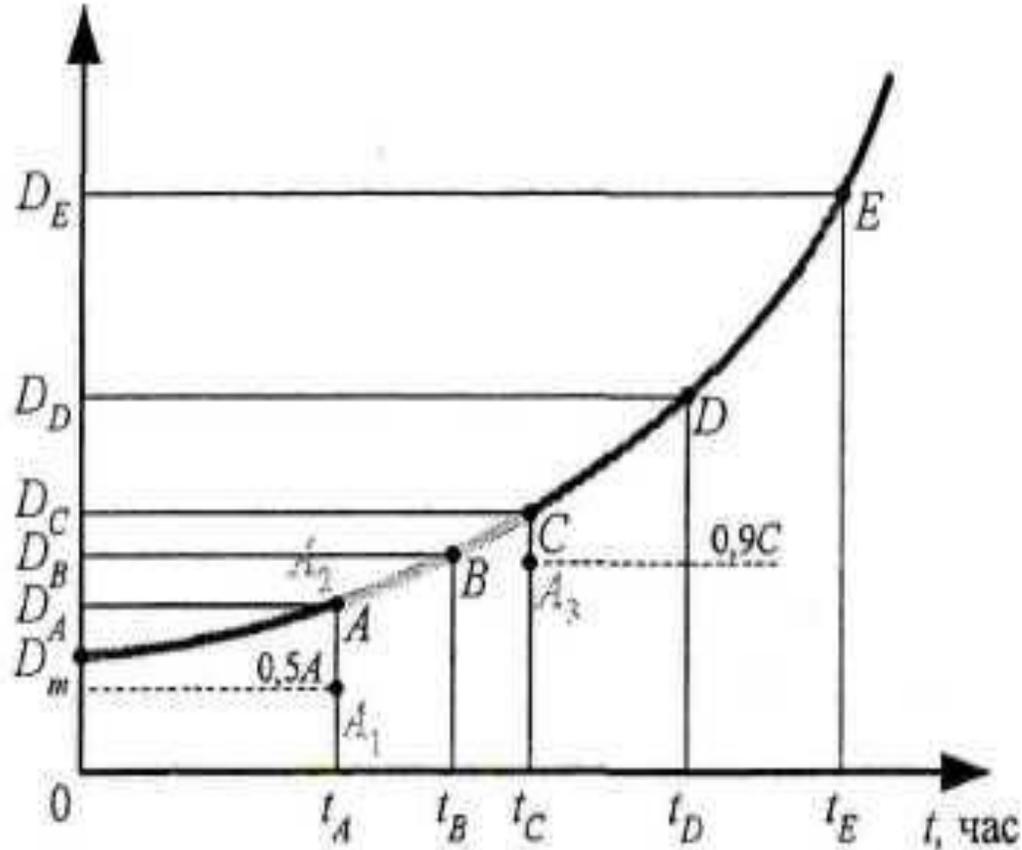
Малогабаритный микропроцессорный прибор для контроля технического состояния подшипников качения по методу ударных импульсов, что позволяет в процессе работы оборудования определять состояние подшипников качения, качество их смазки и монтажа, а так же состояние насосов высокого давления, форсунок дизелей, клапанов поршневых компрессоров и т. п.



- ▶ Произвести подготовку объекта. Запустить стенд.
- ▶ Приложить на обработанную и покрытую контактной жидкостью поверхность датчик.
- ▶ Произвести замеры.
- ▶ Найти среднее значение полученных амплитуд
- ▶ Полученные результаты оценивают по нескольким классам и принимают решение о состоянии объекта.



Зависимость между техническим состоянием и показанием дисплея D прибора от времени работы при номинальной нагрузке подшипника



Участок В-С.

Развитие трещин на телах и дорожках качения, приводящих в дальнейшем к выкрашиванию металла с образованием раковин, начало интенсивного износа сепаратора, рост пятен выкрашивания.

Участок С-D.

Образование мелких раковин, возможен усталостный износ сепаратора с появлением в нём, в зависимости от материала и конструкции, небольших трещин.

Участок D-E.

Образование значительных и крупных раковин, развитие на кольцах подшипника трещин до сквозных.

Далее E.

Работа подшипника с крупными раковинами, трещинами, генерация значительной вибрации, до заклинивания с большим тепловыделением.

В точке D имеется вероятность разрушения сепаратора.

В зависимости от норм отбраковки подшипников в каждой отрасли устанавливается по тренду предельное показание дисплея D.

Методы исследования состояния подшипника.

1. Метод прямого спектра

Вибрационный сигнал обрабатывается анализатором спектра вибрации (виброанализатором) и по частотному составу спектра можно идентифицировать наличие и развитие дефектов подшипника. Каждому дефекту на элементах подшипника (тела качения, внутреннее и наружное кольцо, сепаратор) соответствуют свои частоты, которые зависят от кинематики подшипника и скорости его вращения. Наличие той или иной частотной составляющей в спектре говорит о возникновении соответствующего дефекта, а амплитуда - о глубине дефекта.

Метод обладает высокой помехозащищенностью и информативностью, однако малочувствителен к зарождающимся и слабым дефектам в связи с тем, что микроскоп на шарике или дорожке не в состоянии заметно качнуть механизм. И только при достаточно развитых дефектах амплитуды этих частотных составляющих начинают заметно выделяться в спектре.

2. Метод спектра огибающей

Метод базируется на анализе высокочастотной составляющей вибрации и выявлении модулирующих ее низкочастотных сигналов. Наилучшие результаты метод дает в том случае, если отфильтровать основную (несущую) частоту в диапазоне от 4 до 32 кГц и анализировать ее модуляцию. Обработка сигнала очень сложна, но результат стоит того. Дело в том, что небольшие дефекты подшипника не в состоянии вызвать заметной вибрации в области низких и средних частот. В тоже время, для модуляции высокочастотных вибрационных шумов энергии возникающих ударов оказывается вполне достаточно. То есть, метод обладает очень высокой чувствительностью. Спектр огибающей при отсутствии дефектов представляет собой почти горизонтальную, волнистую линию. При появлении дефектов над уровнем линии сплошного фона начинают возвышаться дискретные составляющие. Анализ частотных составляющих спектра огибающей позволяет идентифицировать наличие дефектов, а превышение соответствующих составляющих над фоном однозначно характеризует глубину каждого дефекта.



1. Метод прямого спектра



2. Метод спектра огибающей



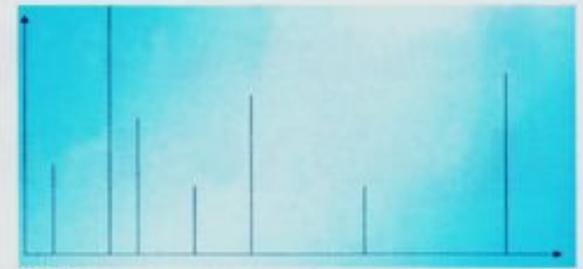
2. Метод спектра огибающей



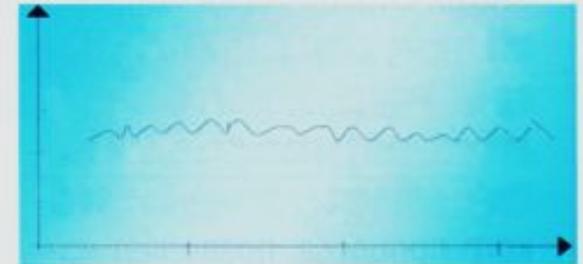
3. Метод ударных импульсов

3. Метод ударных импульсов

Метод ударных импульсов основан на измерении и регистрации механических ударных волн, возникающих в работающем подшипнике вследствие ударов при точечном контакте шарика (ролика) с обоймами. Для измерения используется пьезоэлектрический датчик, на который не оказывает влияние фон вибрации и шум. Вызванная механическим ударом фронтальная волна сжатия возбуждает затухающие колебания датчика (преобразователя). Наблюдаемый процесс аналогичен тому, как отзывается на удары камертон. Как бы вы по нему ни ударили - он звенит на своей собственной частоте. Практически было установлено, что подшипниковые узлы от соударения дефектов «звенят» на частотах в диапазоне 28-32 кГц, но, в отличие от камертона, эти колебания очень быстро затухают, на осциллограммах они выглядят как импульсы, что и дало название методу - метод ударных импульсов. Амплитуды импульсов однозначно связаны с типоразмером подшипника, скоростью вращения и глубиной дефектов. Поэтому по амплитудам ударных импульсов можно достоверно диагностировать наличие и глубину дефектов.



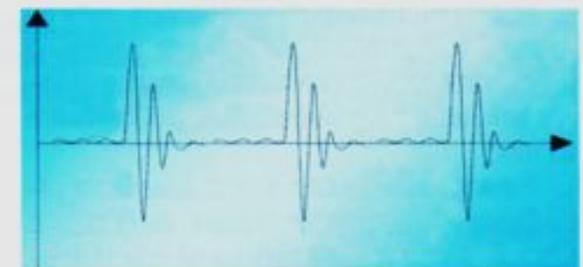
1. Метод прямого спектра



2. Метод спектра огибающей



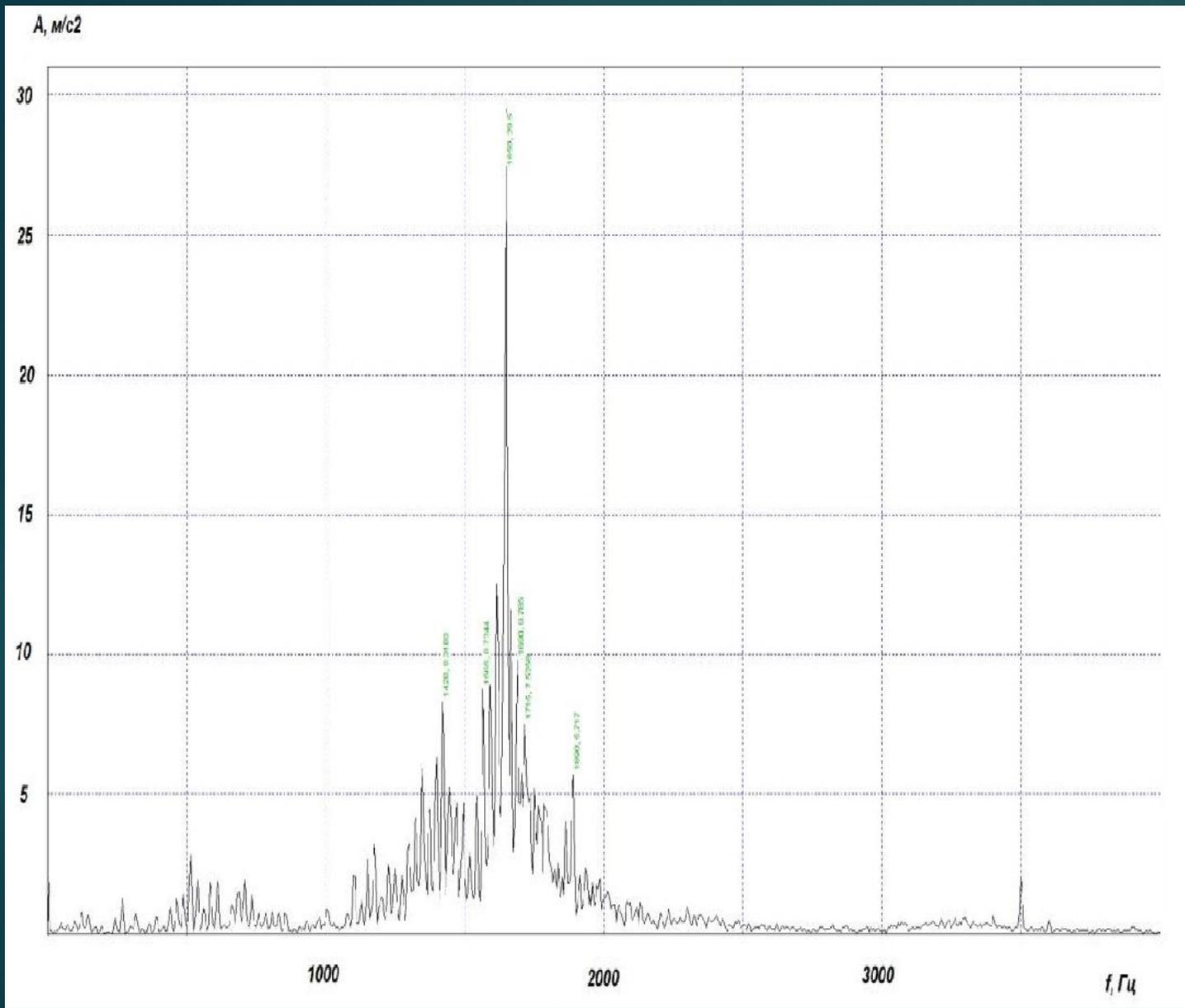
2. Метод спектра огибающей



3. Метод ударных импульсов

Так, например, метод прямого спектрального анализа очень информативен, основная сложность здесь заключается в необходимости расчета групп «подшипниковых» частот. Зачастую подшипникам свойственно развитие сразу нескольких дефектов (как правило, это повреждение и наклеп сепаратора, изменение формы тел качения и повреждения колец), что несколько затрудняет проводимый анализ.

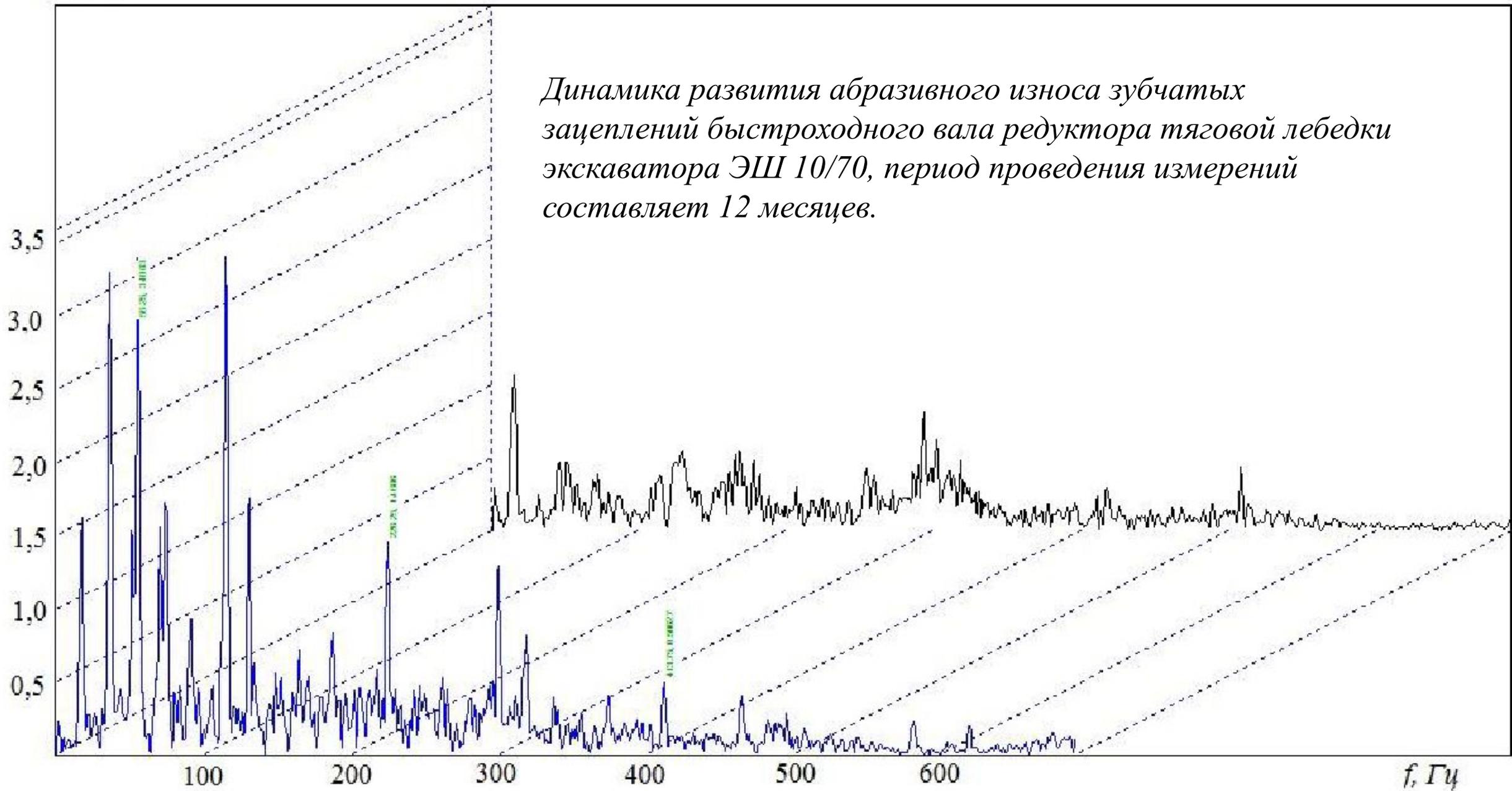
Обычно знание геометрии подшипника является необходимым условием проведения частотного анализа для выявления соответствующих дефектов. Поэтому на практике иногда применяют метод эксцесса, требующий лишь наличие информации о предполагаемом типе дефекта (дефект монтажа, эксплуатационный износ или зарождение повреждения) и частоте вращения вала, на котором насажен подшипник качения. Также эффективными могут оказаться результаты анализа по общему уровню виброускорения сигнала в расширенном частотном диапазоне или оценка степени вклада амплитуд отдельных гармоник в этот сигнал, не требующие проведения дополнительных громоздких расчетов. Существует около шести основных диагностических правил выявления дефектов подшипников, некоторые из которых включают до 20 диагностических признаков, находящихся в основном именно в плоскости частотного анализа.



Развитый дефект подшипника правого двигателя лебедки подъема экскаватора ЭШ 13/50

Еще одной группой неисправностей, вносящей заметные изменения в параметры виброакустического сигнала, генерируемого при работе динамического оборудования драглайнов, являются повреждения зубчатых передач редукторов лебедок подъема и тяги, а также механизмов поворота. Основные сложности диагностирования их технического состояния обусловлены изменением при работе этих механизмов групп информативных частот. Значащие гармоники могут смещаться в процессе работы механизмов на десятки и сотни герц, поэтому автоматизированная диагностика подобных процессов крайне затруднена, существующее на рынке программное обеспечения контроля дефектов зубчатых передач по параметрам вибрации является малоэффективным и плохо справляется с поставленными задачами.

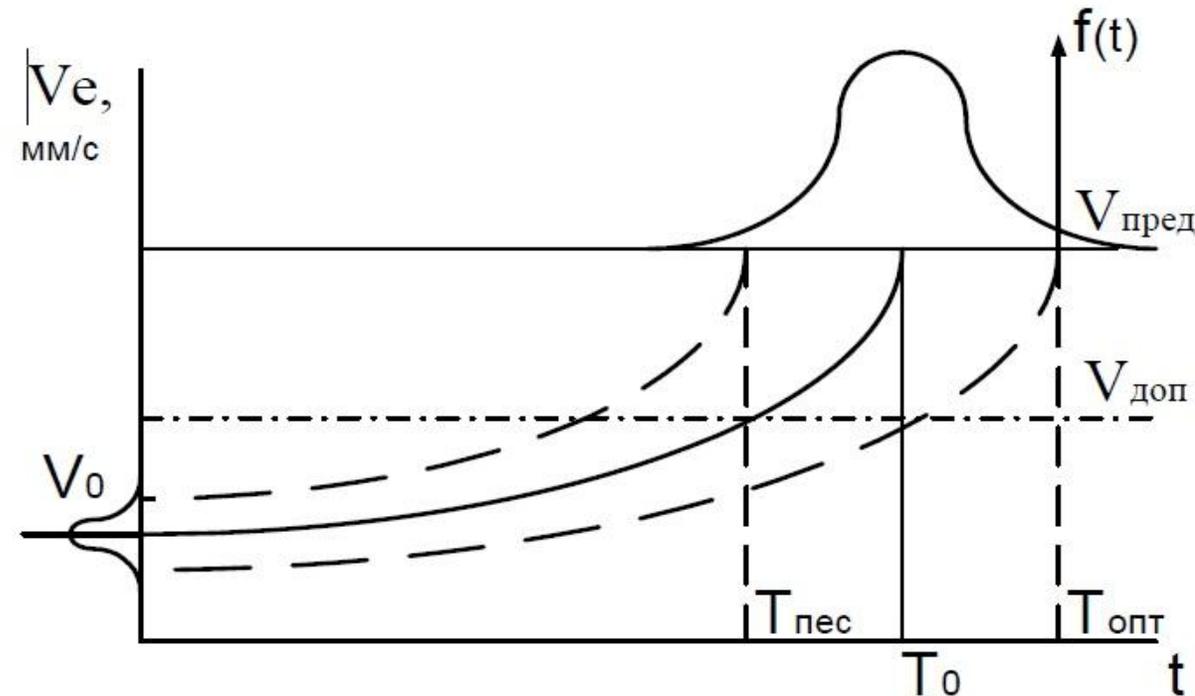
V_e , мм/с



Основным подходом к производству вибродиагностического анализа является оставления спектральных масок объекта. В процессе эксплуатации выявляется рабочий диапазон частот, который разбивается на ряд последовательных участков и при непосредственной работе объекта на него накладываются «маски», которые включают в себя диапазоны частот и амплитуды, которые могут возникнуть при работе объекта с дефектом на разной стадии развития и исправного узла.



Спектральная маска однотипной группы осевых вентиля-торов главного проветривания



Распределение скорости деградации однотипного оборудования: $f(t)$ -плотность вероятности возникновения отказа; T_0 -среднее время наработки на отказ; $T_{опт}$ - максимальное время наработки на отказ; $T_{пес}$ - минимальное время наработки на отказ

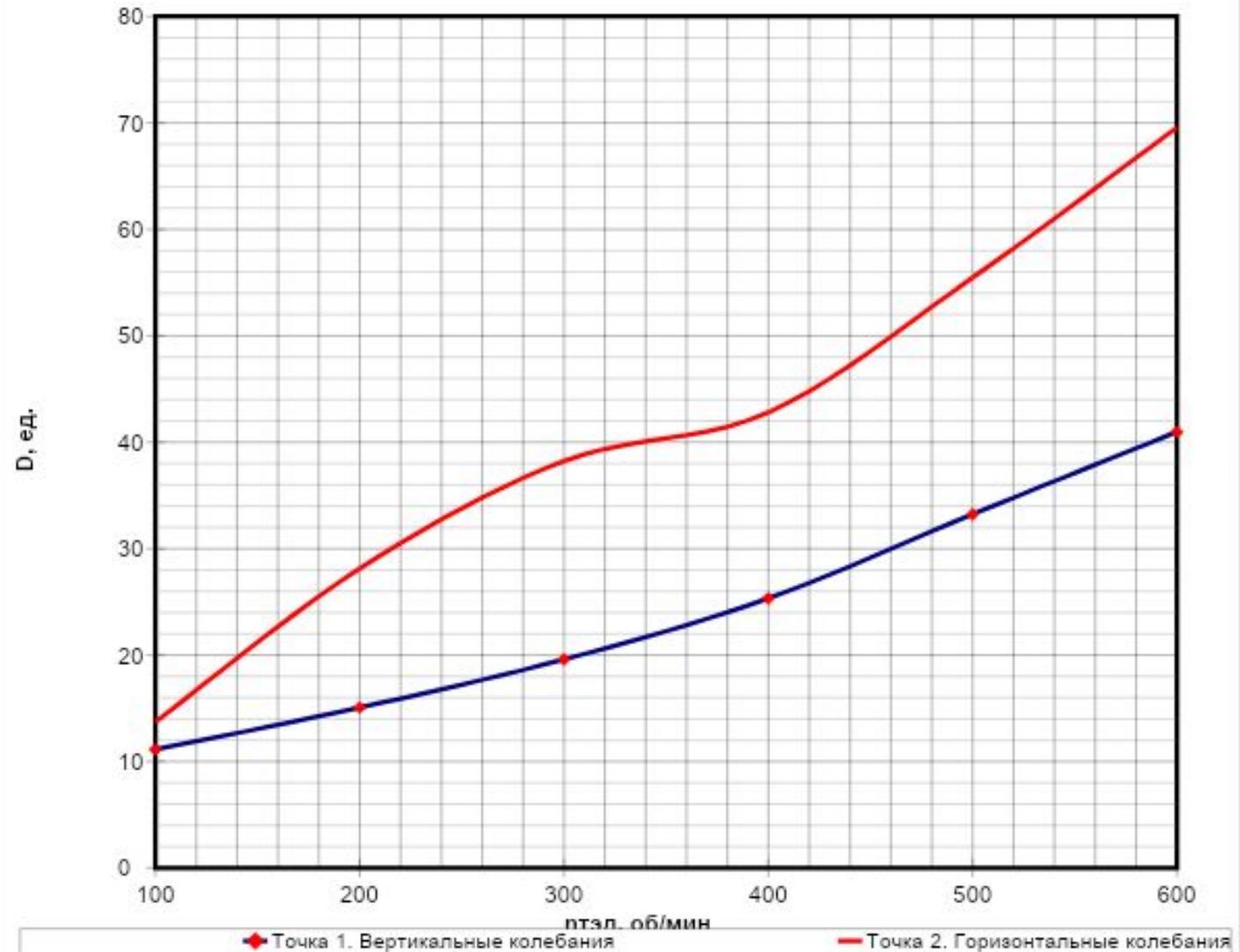
Результаты диагностирования двигателя ЭД118А

Проверка проводилась на различных частотах вращения якоря двигателя и установкой датчика в 2 точки.

1		птэд, об/мин					
исходная		100	200	300	400	500	600
Вертикальные колебания	Точка 1	11,13	15,07	19,6	31,23	30,1	35,67
Горизонтальные колебания	Точка 2	13,7	28,13	38,23	42,53	48,17	61,63

2		птэд, об/мин					
испр. 400-600		100	200	300	400	500	600
Вертикальные колебания	Точка 1	11,13	15,07	19,6	25,33	33,23	40,97
Горизонтальные колебания	Точка 2	13,7	28,13	38,23	42,8	55,47	69,57

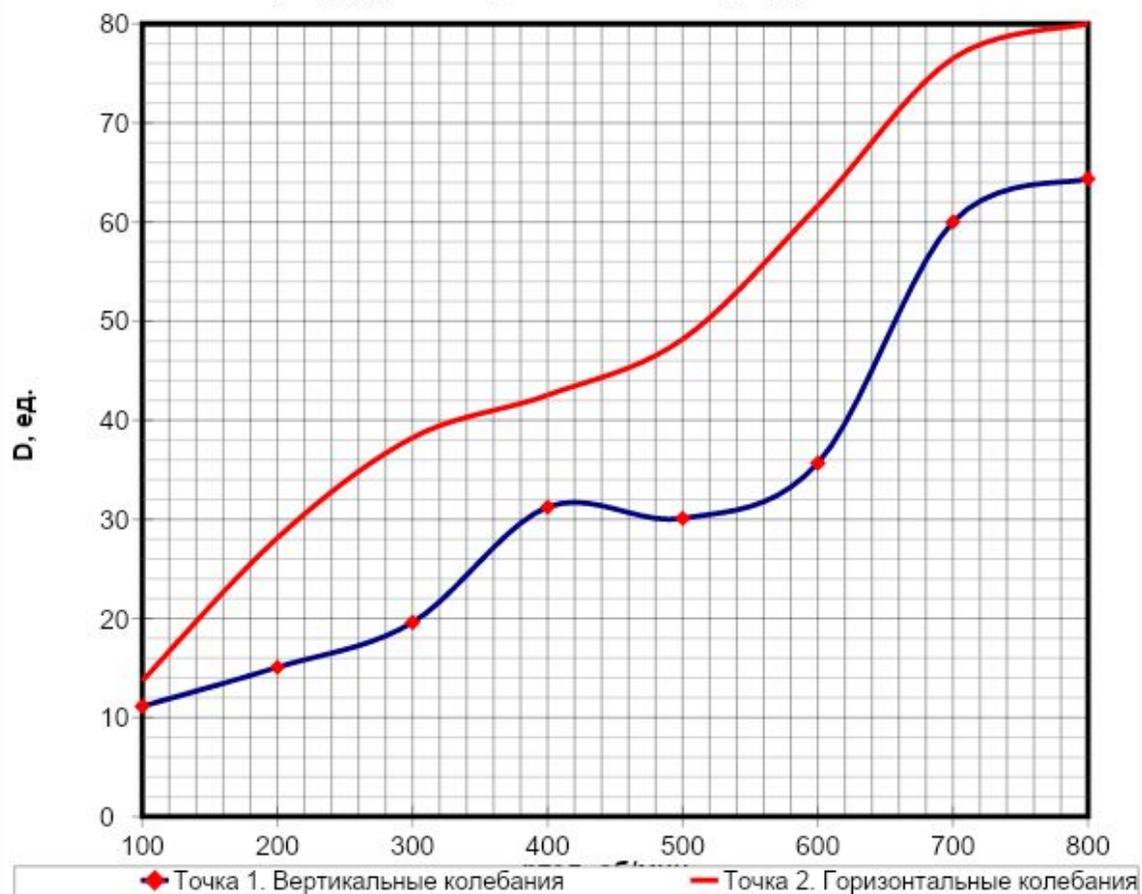
2. $D=f(n_{тэд})$ для опорного МЯП ТЭД ЭД118А



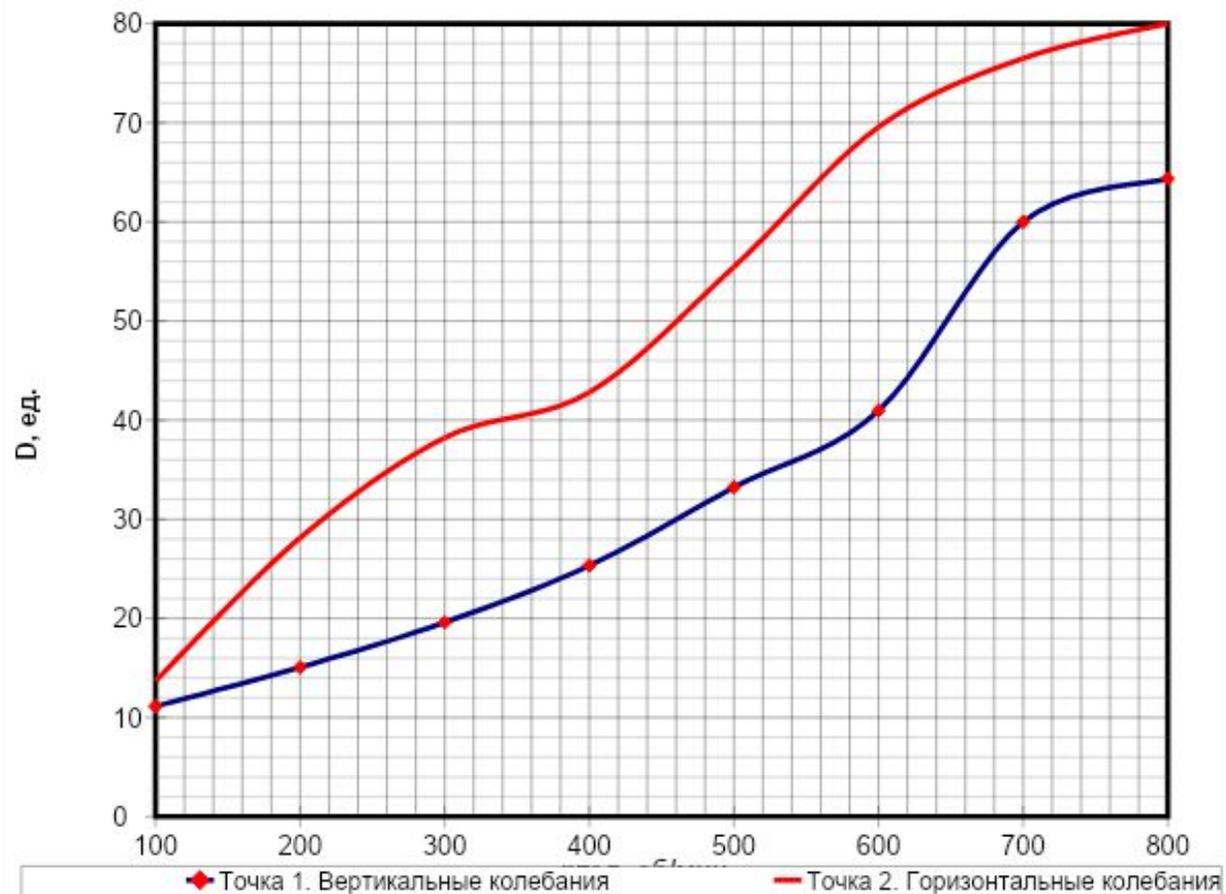
3		птэд, об/мин							
дополн. 1, 700-800		100	200	300	400	500	600	700	800
Вертикальные колебания	Точка 1	11,13	15,07	19,6	31,23	30,1	35,67	60	64,37
Горизонтальные колебания	Точка 2	13,7	28,13	38,23	42,53	48,17	61,63	76,5	80

4		птэд, об/мин							
дополн. 2, 400-800		100	200	300	400	500	600	700	800
Вертикальные колебания	Точка 1	11,13	15,07	19,6	25,33	33,23	40,96	60	64,37
Горизонтальные колебания	Точка 2	13,7	28,13	38,23	42,8	55,47	69,57	76,5	80

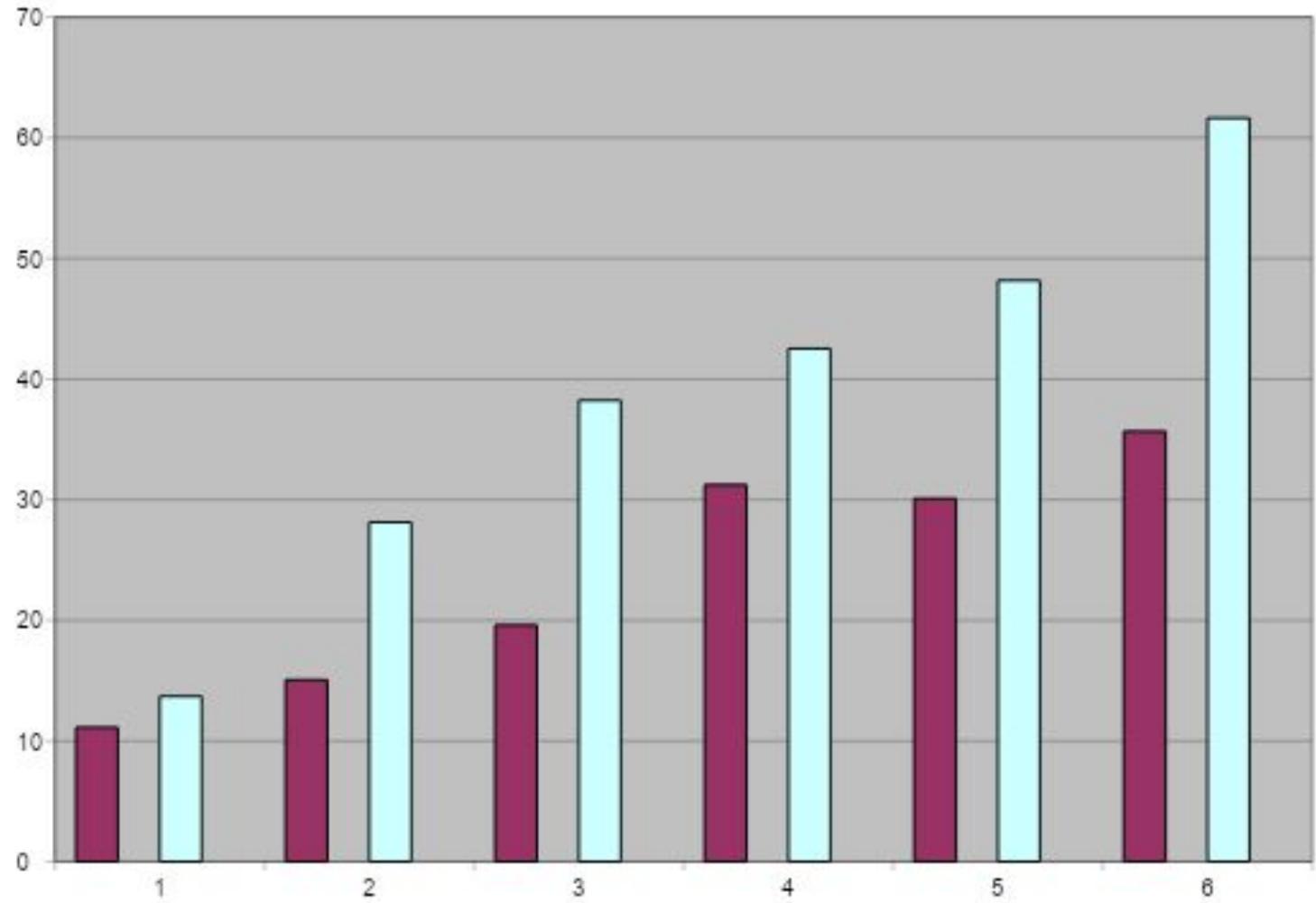
3. $D=f(\text{птэд})$ для опорного МЯП ТЭД ЭД118А



4. $D=f(\text{птэд})$ для опорного МЯП ТЭД ЭД118А



	Вертикальные колебания	Горизонтальные колебания
птэд, об/мин	Точка 1	Точка 2
100	11,13	13,7
200	15,07	28,13
300	19,6	38,23
400	31,23	42,53
500	30,1	48,17
600	35,67	61,63





Выполнили студенты группы ТПЭ-411
Михеев Александр и Клевакин Денис