

# Совершенствование систем управления и контроля электрогидравлических вибрационных источников сейсмических сигналов

Асан-Джалалов О.А., Гридин П.А., ЗАО "Геосвип", г. Москва

Современный электрогидравлический вибрационный источник сейсмических сигналов представляет собой сложное наукоемкое изделие, сочетающее в себе прецизионные механику и гидравлику, обеспечивающие точную отработку заданных сигналов, и "умную" электронику, дающую возможность максимально автоматизировать процесс работы вибрационного источника и обеспечить наиболее полный контроль его работы, как на самом вибрационном источнике, так и дистанционно, с места оператора сейсмостанции. Поскольку возможности совершенствования гидромеханических систем вибрационных источников практически исчерпаны, основной упор в настоящее время делается на улучшение эксплуатационных характеристик вибрационных источников и ужесточение текущего контроля их параметров за счет развития электронных систем управления и средств контроля, как встроенных в системы управления, так и внешних.

Современные системы управления должны обеспечивать:

- максимальную синхронность работы группы вибрационных источников;
- возможность генерирования широкого спектра свип-сигналов, а также импульсных воздействий;
- возможность управления амплитудой свип-сигналов;
- максимальное соответствие излучаемого сигнала заданному, как по фазе, так и по амплитуде;
- минимальные нелинейные искажения излучаемого сигнала;
- дистанционную (по радио) диагностику, как самой системы управления, так и вибрационного источника в целом;
- непрерывный дистанционный контроль за работой вибрационных источников в процессе отработки каждого воздействия с сохранением на электронных носителях основных характеристик излучаемого каждым вибрационным источником сигнала (полярность, амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики, нелинейные искажения, контрольные суммы свип-сигнала и параметров системы управления);
- автоматическую адаптацию системы управления вибрационным источником к параметрам грунта на пунктах возбуждения колебаний;
- автоматическую настройку системы управления на любой тип вибратора и проверку его исправности;
- дистанционную загрузку параметров свип-сигнала и вибратора;
- максимальный уровень автоматизации работ, обеспечивающий минимальное влияние оператора вибрационного источника на процесс возбуждения колебаний;

Кроме того, как показывает опыт, ведущие производители систем управления вибрационными источниками вынуждены вносить изменения практически в каждую новую партию под требования заказчиков. Поэтому современная система управления должна легко модифицироваться без особых аппаратных изменений.

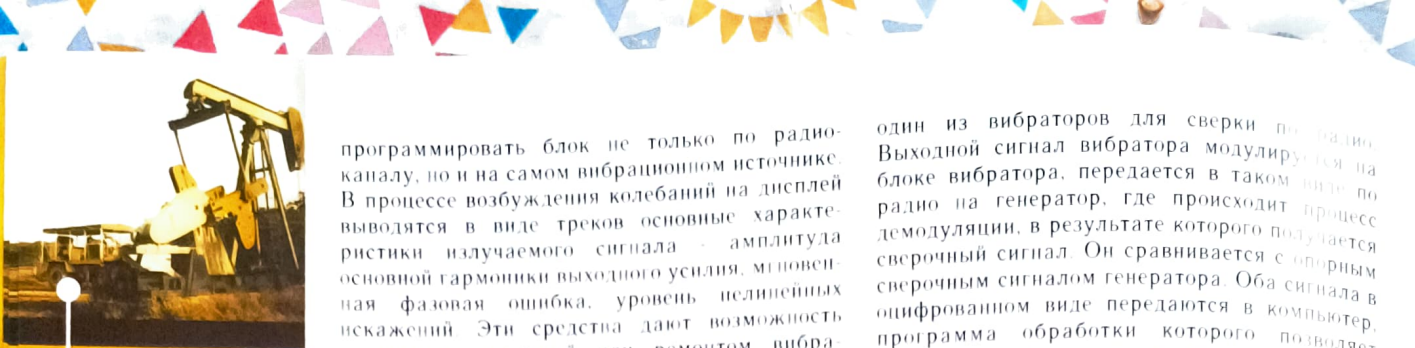
Стремительное развитие электроники имеет и свои теневые стороны. Разработка новых электронных компонентов в короткие сроки приводит к быстрому снятию с производства старых компонентов. Поэтому некоторые системы управления, еще не исчерпавшие свои ресурсы и вполне удовлетворяющие современным требованиям, производители вынуждены снимать с производства, так как электронные комплектующие к ним больше не выпускаются. Эксплуатация таких систем также затруднена из-за отсутствия запасных частей для ремонта. Производители вынуждены идти на новую разработку, основанную на новой элементной базе.

В 2004 г. ЗАО "Геосвип" закончило разработку своей системы управления вибрационных источников сейсмических сигналов. Новая система получила название "Vicont-002" (Рис.1). В процессе работы над ней разработчики старались построить систему, максимально удовлетворяющую вышеприведенным требованиям. Основой системы стал новый высокопроизводительный сигнальный процессор "Sharc". В качестве процессоров, управляющих работой отдельных плат, используются микроконтроллеры серии M16 производства Mitsubishi. Все платы имеют интерфейс для подключения компьютера через последовательный порт. Поэтому модернизацию функционального блока, уже находящегося в эксплуатации, можно произвести в считанные минуты загрузкой нового программного обеспечения, без изменений аппаратной части. Блок управления вибрационным источником оснащен жидкокристаллическим экраном и клавиатурой. Это позволяет



Рис. 1 Система управления вибрационных источников сейсмических сигналов "Vicont-002"

ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ  
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



# ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

программировать блок не только по радиоканалу, но и на самом вибрационном источнике. В процессе возбуждения колебаний на дисплее выводятся в виде треков основные характеристики излучаемого сигнала - амплитуда основной гармоники выходного усилия, мгновенная фазовая ошибка, уровень нелинейных искажений. Эти средства дают возможность заниматься наладкой или ремонтом вибрационного источника без привлечения аппаратуры, установленной на сейсмостанции, или другой дополнительной аппаратуры.

Комплект аппаратуры Vicont-002, предназначенный для управления электрогидравлическими вибрационными источниками сейсмических сигналов состоит из одного синхронизирующего генератора и нескольких блоков управления вибратором. Генератор обычно устанавливается на сейсмостанции и подключается к ней, а каждый из блоков устанавливается на вибрационном источнике. Генератор имеет удобный интерфейс для стыковки с сейсмостанцией.

К генератору подключается независимый IBM-совместимый компьютер. Этот компьютер требуется для управления работой генератора, загрузки параметров на все вибраторы, отображения и сохранения рапортов и анализа результатов сверки.

Основной задачей аппаратуры Vicont-002 является синхронизация выходных сигналов вибраторов с опорным сигналом генератора, записываемым на дополнительный канал сейсмостанции. Синхронизация запуска блоков достигается за счет телеметрической связи по радио между генератором и блоками. Кодовый сигнал, который осуществляет синхронизацию запуска, называется стартовым кодом. Vicont-002 имеет три разных стартовых кода для обеспечения работы нескольких сейсмопартий рядом.

После того, как стартовый код будет принят блоком, он начинает управлять процессом вибрационного излучения сейсмической волны в грунт. Аппаратура Vicont-002 предполагает широкий выбор различных свипов. Это линейные свипы, нелинейные сигналы со степенным, логарифмическим или кусочно-непрерывным изменением частоты во времени, последовательности линейных или нелинейных сигналов с различными сдвигами фаз, случайные свипы. Кроме того система позволяет генерировать импульсный сигнал. В процессе вибрации блок Vicont-002 управляет одновременно амплитудой и фазой выходного вибрационного сигнала усилия вибратора. Причем высокопроизводительный процессор позволяет управлять ими с высокой точностью.

Обычно на реактивной массе и опорной плите вибратора устанавливается две пары акселерометров. Для управления фазой выходного сигнала может использоваться или сигнал взвешенной суммы сигналов акселерометров, или сигнал ускорения реактивной массы, или же сигнал ускорения опорной плиты.

Одна пара акселерометров используется для управления процессом вибрации, а другая - для осуществления контроля качества излучения в системе сверки. Процедура сверки производится для того, чтобы проверять идентичность работы вибраторов. Во время свипа можно подключить

один из вибраторов для сверки по радио. Выходной сигнал вибратора модулируется на блоке вибратора, передается в таком виде по радио на генератор, где происходит процесс демодуляции, в результате которого получается сверочный сигнал. Он сравнивается с опорным сверочным сигналом генератора. Оба сигнала в оцифрованном виде передаются в компьютер, программа обработки которого позволяет просмотреть и сохранить следующие графики:

- трассы сигналов;
- фазо и амплитудно-частотные характеристики основной гармоники выходного усилия вибратора;
- фазовый и амплитудный спектры выходного усилия вибратора;
- сигнальная часть и огибающая функции взаимной корреляции опорного сигнала и выходного усилия вибратора;
- нелинейные искажения, как общие, так и по отдельным гармоникам;
- импеданс грунта.

Для одновременной сверки вибраторов может быть использована и проводная связь.

Во время свипа система управления Vicont-002 проводит многочисленные проверки. Результаты этих проверок передаются блоками на генератор в виде рапортов, которые содержат следующую информацию:

- максимальная и средняя фазовые ошибки;
- максимальная, минимальная и средняя амплитуды основной гармоники усилия;
- максимальный и средний уровень нелинейных искажений;
- GPS позиция вибрационного источника (дополнительная опция);
- сигнальная часть функции взаимной корреляции опорного сигнала вибратора и усилия;

Рапорты от блоков сразу же после свипа выводятся на экран компьютера, управляющего работой генератора. Кроме того, результаты сравниваются с заранее установленными оператором допусками. При превышении этих допусков автоматически включается индикация ошибок. Кроме того, на экран выводятся амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики выходного сигнала вибратора, полученные при обработке сигнальной части ФВК опорного сигнала и выходного усилия. Благодаря полноте контроля с помощью этого метода, проведение сверки требуется лишь изредка.

При отработке свипа система следит и не допускает превышения заданных пределов тока через ЭМП, перемещения распределительного золотника сервоклапана, перемещения реактивной массы. Кроме того, для выходного усилия она не допускает превышение 90%-го уровня от полного усилия прижима, таким образом предотвращая отрыв опорной плиты вибратора от грунта.

Параметры свип-сигналов и самого генератора заносятся в генератор с помощью компьютера. В блоки вибраторов параметры свип-сигналов и вибратора могут быть занесены с компьютера через генератор по радио, или на вибраторе с помощью клавиатуры и дисплея.

Адаптация блока управления к конкретному вибрационному источнику происходит автоматически в процессе калибровки. Блок может использоваться с любыми типами вибраторов.

Таблица 1 Технические характеристики системы Vicont-002

|                                                       |         |                                 |            |
|-------------------------------------------------------|---------|---------------------------------|------------|
| Максимальное количество вибраторов в группе, 4 группы | 16      | Максимальный ток через ЭМП, мА  | 100        |
| Частотный диапазон, Гц                                | 1...350 | Синхронность запуска, мкс       | ±25        |
| Точность часов, ppm                                   | 0.1     | Потребляемая мощность, Вт       | 32         |
| Питающее напряжение, В                                | 9-36    | Температурный диапазон, град. С | -40...+45  |
| Максимальное число сегментов свипа                    | 32      | Размеры, мм                     | 140x70x320 |
| Максимальное число библиотечных свипов                | 16      | Вес, кг                         | 7,5        |

В качестве дополнительной опции система управления Vicont-002 может оснащаться системой GPS. Аппаратурная часть GPS вибратора состоит из установленного внутри вибратора GPS-приемника, GPS-антенны и системы приема дифференциальной поправки. На сейсмостанции устанавливается опорная станция GPS, антенна которой расположена в точно известных координатах, для передачи на вибраторы дифференциальной поправки. Аппаратура GPS позволяет записывать координаты положения вибраторов на пунктах возбуждения и сохранять их в компьютере.

Все указанные выше возможности, современная элементная база, гибкость построения системы, позволяющая быстро доработать ее под дополнительные требования заказчика, свидетельствуют о том, что разработка выполнена на высоком техническом уровне и может конкурировать с лучшими зарубежными аналогами фирм "Sersel" (Франция) и "I/O" (США).

В таблице 1 приведены технические характеристики системы управления вибрационными источниками сейсмических сигналов Vicont-002.

Система управления Vicont-002 имеет встроенные средства контроля и диагностики вибрационного источника, достаточные для определения неисправностей, настройки и проверки вибраторов. Однако некоторые функции настройки и проверки требуют задействования всей системы в целом, в том числе и синхронизирующего генератора, установленного на сейсмостанции. А это не всегда удобно, так как часто сейсмопартия продолжает работу, пока один из вибрационных источников обслуживается. Поэтому для контроля, настройки и ремонта вибрационных источников в автономном режиме, без сейсмостанции, специалистами ЗАО "Геосвип" создан VibraTester программно-аппаратный комплекс для проверки качества работы сейсмических вибраторов (Рис. 2).

Применение современной элементной базы и программного обеспечения позволило создать комплекс на качественно новом уровне.

Прибор отличают малые размеры и вес, а программное обеспечение обладает высоким быстродействием. Способ отображения графической информации одновременно сочетает в себе достоинства присущие цифровому и аналоговому способам воспроизведения.

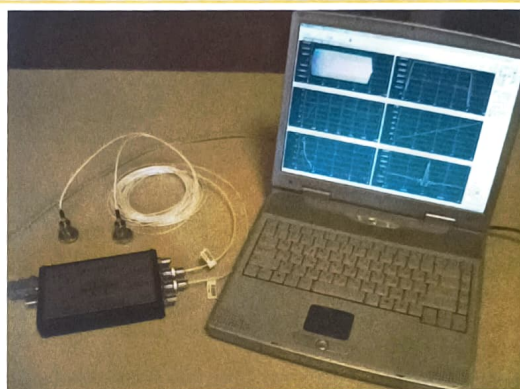


Рис. 2 Программно-аппаратный комплекс VibraTester для проверки качества работы сейсмических вибраторов

VibraTester полезен для поиска и устранения неисправностей электрогидравлических вибраторов независимо от их типа и установленной электронной системы управления.

Аппаратная часть комплекса состоит из четырехканального регистратора подключаемого к компьютеру через интерфейс RS-232 (COM-порт). В функции регистратора входит оцифровка аналоговых сигналов, цифровая антиалайсинговая фильтрация, передача оцифрованных сигналов в компьютер. Основные технические характеристики устройства VibraTester приведены в Таблице 2.

Регистратор работает в режиме реального времени, т. е. оцифрованные сигналы сразу же поступают в компьютер для обработки и воспроизведения. Программное обеспечение может работать в режиме осциллографа и спектрального анализатора. Режим реального времени позволил решить две задачи:

- воспроизводить в реальном времени

Таблица 2 Основные технические характеристики VibraTester

|                                            |            |                                    |                  |
|--------------------------------------------|------------|------------------------------------|------------------|
| Максимальный входной сигнал:               |            | Фазовая неидентичность каналов     | ± 1 град.        |
| ♦ по каналам REF и VibOut                  | ± 10 В     | Амплитудная неидентичность каналов | ± 0.1 %          |
| ♦ по каналам BP и RM                       | ± 2 В      | Частота дискретизации              | 1 кГц            |
| Частотный диапазон регистрируемых сигналов |            | Чувствительность акселерометров    | 2 мВ/г - 50 мВ/г |
| ♦ режим акселерометров                     | 3...450 Гц | Напряжение питания                 | 9-36 В           |
| ♦ режим сверки                             | 0...450 Гц | Потребляемый ток                   | 200 мА при 12 В  |
|                                            |            | Габаритные размеры                 | 200x110x40 мм    |

сигналы на экране компьютера.

- записывать сигналы любой длительности.

В устройстве применен быстродействующий 16-разрядный микропроцессор M16 производства Mitsubishi. Для данного класса процессоров обычно присуща развитая периферия и слабые вычислительные возможности для обработки сигналов, однако наличие в системе команд функции свертки позволило реализовать в дополнение к аналоговой и цифровую антиалайсинговую фильтрацию. Цифровой линейно-фазовый фильтр 100-го порядка работает на частоте 25 КГц и позволяет существенно упростить аналоговую часть, что повышает надежность устройства.

Устройство имеет только одну частоту дискретизации 1000 Гц, в использовании других частот необходимость отсутствует. При скорости передачи 115200 бод устройство вполне успевает пропустить всю информацию в реальном времени, а более высокие скорости не нужны, так как обычно они требуются лишь для устранения эффекта наложения частот. Дело в том, что подобные устройства, как правило, имеют частоту среза аналогового фильтра около 500 Гц (например, NVCA Pelton Company, Inc. фильтр Баттерворта 8-го порядка - 500 Гц) и дискретизация с частотой выше 1000 Гц снижает эффекты наложения, но не дает никакой дополнительной информации. В данном устройстве эффект наложения устраняется цифровым фильтром.

Аналоговая часть устройства выполнена на микросхемах известных производителей: Burr-Brown и Analog Devices. Аналоговый антиалайсинговый фильтр Бесселя 4-го порядка имеет частоту среза 500 Гц. VibraTester в аналоговой части не содержит никаких подстроечных элементов, что также повышает степень надежности. Для устранения влияния разброса параметров аналоговых элементов используется специально разработанная процедура калибровки. Калибровка устройства производится после его окончательной сборки и состоит из следующих этапов:

- на устройство подаются сигналы сформированные приборами на порядок более точными и производится их считывание специальной калибровочной программой;
- считанная информация обрабатывается и формируется файл с поправочными коэффициентами;
- сформированный файл записывается в ПЗУ микропроцессора.

Таким образом, достигается автоматизация и повышение качества настройки после сборки или ремонта прибора.

VibraTester может работать в двух основных режимах.

1. В трехканальном режиме запись сигналов акселерометров устройство записывает сигнал развертки (REFERENCE) и сигналы акселерометров плиты (BASE PLATE) и реактивной массы (REACTION MASS). Прибор может принимать сигналы питательных акселерометров установленных на вибраторе и внешних акселерометров входящих в комплект поставки. Для питания внешних акселерометров предусмотрен встроенный источник тока.

2. В двухканальном режиме свертки устройство записывает сигнал развертки сейсмо-

станции или опорный сигнал вибратора (REFERENCE) и выходной сигнал вибратора (VIBRATOR OUTPUT).

Первый режим предназначен для определения характеристик вибратора, его настройки и ремонта. При работе в трехканальном режиме с внешними акселерометрами прибор может быть полезен для проведения супервизорского контроля работы вибратора независимыми аппаратными средствами никак не связанными с электроникой самого вибратора.

Второй режим также используется для определения характеристик вибратора, для настройки, ремонта и для проведения ежедневных работ по свертке вибраторов по радиоканалу.

VibraTester имеет дополнительный режим работы по интерфейсу Serial Bus (Pelton Company, Inc.). В этом режиме прибор специальным кабелем подключается к блоку управления вибратором или свип-генератору и обеспечивает взаимодействие с программой KOP6 (Pelton Company, Inc.).

Программа VT является управляющей программой для устройства VibraTester. Программа управляет режимами оцифровки данных устройством. Прием данных от устройства через последовательный интерфейс RS-232 и их запись на дисковый носитель в формате SEG-2. Программа VT производит обработку записанных данных, их воспроизведение на экране ЭВМ, а также распечатку на печатающем устройстве. Дополнительной возможностью программы является чтение данных в формате FM16 (Pelton Company, Inc.), это позволяет пользователю сравнить качество обработки.

Программа может работать под управлением операционных систем Windows 98, Windows 2000 или Windows XP.

Цифровая обработка построена на базе пакета Intel Signal Processing. Использование данного пакета, оптимизированного специалистами компании Intel для цифровой обработки сигналов, позволяет достичь максимальной производительности, обеспечиваемой процессорами Intel Pentium, а также повысить надежность самой обработки за счет использования отлаженных процедур. Были также использованы подпрограммы библиотеки SLATEC (Sandia, Los Alamos, Air force weapons laboratory Technical Exchange Committee).

При вычислении основных параметров

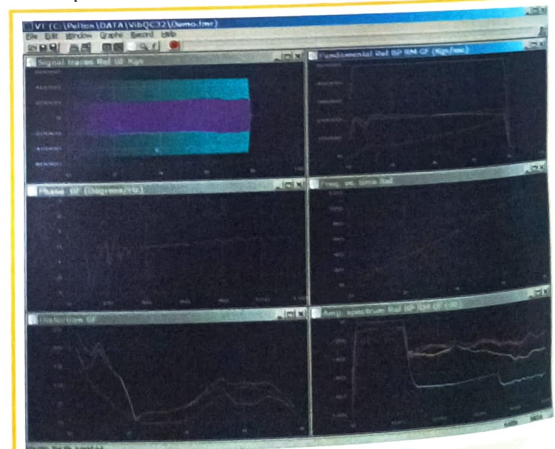


Рис. 3 Вычисление основных параметров вибратора

вибратора (рис. 3) таких как: фаза, амплитуды основной гармоники, пиковая и среднеквадратическая, используется свертка с сигналом развертки (REFERENCE). Свертка вычисляется в окне 200 миллисекунд с постоянным шагом и 100 миллисекунд, т.е. первое значение будет вычислено на интервале 0-200 мс, второе 100-300, 200-400 и т.д. Время на графиках соответствует срединам интервалов свертки, например значение 4 с на графике, будет вычислено на интервале 3900-4100 мс. Для свертки используется комплексная модель сигнала развертки, вычисляемая из входного с помощью преобразования Гильберта.

Графика программы основана на графической библиотеке OpenGL (разработка Silicon Graphics Incorporated), позволяющей создавать высокоскоростные приложения с графикой высокого качества, независимые от конкретной операционной системы.

Режим сглаживания линий, а также возможность управления яркостью "луча" позволили создать графику, не уступающую изображению на экране аналогового осциллографа. Воспроизводимые графические зави-

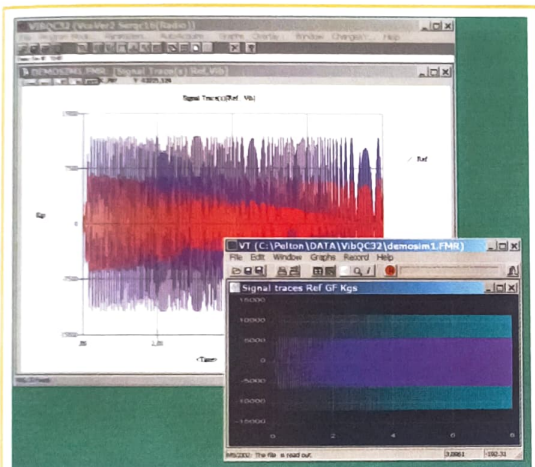


Рис. 4 Сравнение графических возможностей программ VibQC32 (Pelton Company, Inc) и VT

симости обладают большой информативностью даже при небольших размерах окна и большом масштабе по оси времени.

Сравним, например, (рис. 4) кривые Signal traces длительностью 8 секунд одной и той же записи, воспроизведенные программами VibQC32 (Pelton Company, Inc) и VT.

Программа позволяет создавать одновременно любое количество графиков. Новый график создается в отдельном окне и ему назначается какой-либо тип зависимости, например, фазы или амплитуды спектра от частоты. Интересующая область графика может быть выделена мышью, пределы по осям координат могут быть заданы, как вручную так и автоматически. Для сравнения различных записей можно прочитать одновременно несколько файлов и все они отобразятся в соответствующих окнах.

В программе существует возможность наблюдать сигналы, подключенные к входным разъемам, в реальном времени. Пользователь может назначить графику тип "Oscilloscope" или "Spectral Analyzer". В случае если VibraTester не

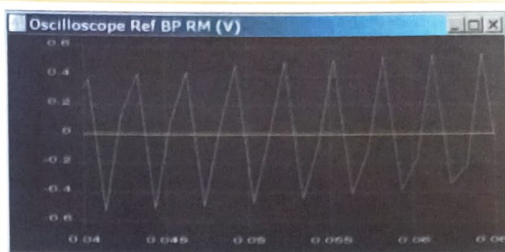


Рис. 5 Режим "Oscilloscope" (без интерполяции)

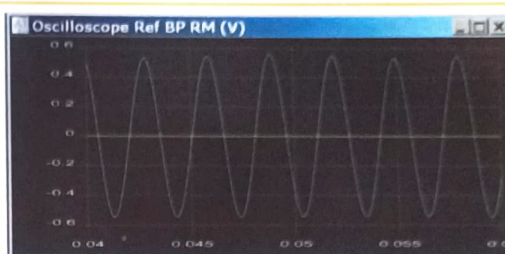


Рис. 6 Режим "Oscilloscope" (с интерполяцией)

готов к работе или устройство отключено в окне появляется сообщение "No signal", при подключении устройства VibraTester к ЭВМ и подаче питания в окне сразу возникает изображение сигнала, т.е. программа "налету" синхронизируется с устройством. Это свойство можно использовать для контроля готовности устройства к записи. Для режима Oscilloscope есть специальный параметр, позволяющий с помощью быстрого преобразования Фурье интерполировать сигнал, увеличивая в 8 раз частоту дискретизации. Данный способ интерполяции хорош для наблюдения за синусоидальными, шумоподобными и близкими к ним сигналами, такими как сигналы развертки, ускорения, усилия на грунт. На рис. 5, 6 показан синусоидальный сигнал с частотой примерно 330 Гц без интерполяции и с ней.

"Spectral Analyzer" позволяет в реальном времени наблюдать спектр сигнала вычисленный по 256 отсчетам.

Существует возможность скопировать в буфер обмена Windows (Clipboard) точечный рисунок, содержащий изображение графика. Рисунок может быть вставлен в файл под управлением различных программ, например Microsoft Word, для составления отчета или каких-либо иных целей.

Печать, осуществляется всегда черным цветом на белом фоне с сохранением полутонов. Сверху выводятся заголовки, отражающий основные свойства записи. Относительные размеры и пропорции окон сохраняются, но общий размер воспроизводимого рисунка масштабируется так, чтобы занять на листе бумаге максимальный размер по высоте или ширине без потери информации.

В заключение можно сказать, что программно-аппаратный комплекс будет полезен как организациям, эксплуатирующим вибрационные источники для их обслуживания, так и супервайзерским службам, для оценки возможностей и технического состояния вибрационных источников.

# ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ