

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ, ПРОИЗВОДСТВА ООО НПП «ВИБРОБИТ»

## РЕАЛИЗАЦИЯ РУЧНОГО АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

А.Г. Добряков, А.А. Зайцев, В.Е. Иващенко, А.В. Сергеев

ООО НПП «Вибробит», г. Ростов-на-Дону, Россия

### **Аннотация**

В статье рассматриваются технические решения реализации ручного анализа первичных вибрационных сигналов датчиков в автоматизированных системах вибрационного контроля, производства ООО НПП «Вибробит». Для предоставления функций ручного анализа сигналов датчиков в стационарных системах контроля вибрации и диагностики требуется поддержка потоковой передачи выборки сигналов датчиков в первичной контрольно-измерительной аппаратуре, накопление данных и представление на экранных формах программно-технического комплекса верхнего уровня. Указанные требования решены в контрольно-измерительной аппаратуре «Вибробит 500», программном обеспечении «Вибробит Web.Net.Monitoring», «Вибробит Web.Net.Diagnostics».

### **Ключевые слова**

Автоматизированная система контроля вибрации и диагностики

Ручной анализ вибрационных сигналов

### **Введение**

Основным направлением деятельности ООО НПП «Вибробит» является разработка и производство автоматизированных систем контроля вибрации и механических величин (АСКВМ), информационно-технических (ИТ) систем, предназначенных для непрерывного стационарного измерения и контроля параметров механического состояния паровых и газовых турбин, турбокомпрессоров, центробежных насосов и других машин во время их эксплуатации.

ООО НПП «Вибробит» предлагает технические решения по построению автоматизированных систем вибрационного контроля и диагностики, как для небольших агре-

гатов (насосов, вентиляторов и т. д.), так и для турбоагрегатов большой мощности с многочисленным вспомогательным роторным оборудованием.

К современным требованиям АСКВМ относятся функции ручного анализа первичных вибрационных сигналов абсолютной вибрации опор и относительной вибрации вала.

В АСКВМ «Вибробит» функции ручного анализа первичных вибрационных сигналов реализуются с помощью следующих технических средств:

- датчики, первичные усилители и преобразователи, производства ООО НПП «Вибробит» и других производителей;
- аппаратура контрольно-измерительная «Вибробит 500»;
- программно-технический комплекс (ПТК) интегрированная система вибрационного мониторинга (ИСВМ) «Вибробит Web.Net.Monitoring»;
- ПТК автоматизированная система вибрационной диагностики (АСВД) «Вибробит Web.Net.Diagnostics».

Технические характеристики функций ручного анализа зависят от варианта комплектации АСКВМ «Вибробит» аппаратными средствами и программным обеспечением.

### **Аппаратура контрольно-измерительная Вибробит «500». Технические решения поддержки ручного анализа вибрационных сигналов**

Аппаратура контрольно-измерительная «Вибробит 500» предназначена для построения автоматизированных систем измерения и контроля параметров вибрационного, механического, теплотехнического состояния паровых и газовых турбин, турбокомпрессоров, центробежных насосов и других машин во время их эксплуатации.

Применение современных электронных комплектующих, высокопроизводительных 32-разрядных DSP микропроцессоров, прогрессивных методов цифровой обработки сигналов (ЦОС) и многолетнего успешного опыта ООО НПП «Вибробит» в реализации автоматизированных систем контроля вибрации позволило создать малогабаритные контрольно-измерительные модули с уникальными функциональными свойствами и конкурентными техническими характеристиками.

Модули контроля аппаратуры «Вибробит 500» предназначены для установки в ма-

логабаритные блочные каркасы высотой 2U, шириной 42НР, 63НР и 84НР (блочный каркас 19"). Широкий рабочий температурный диапазон от -40°С до +70°С позволяет размещать модули контроля аппаратуры «Вибробит 500» в непосредственной близости от контролируемого агрегата.

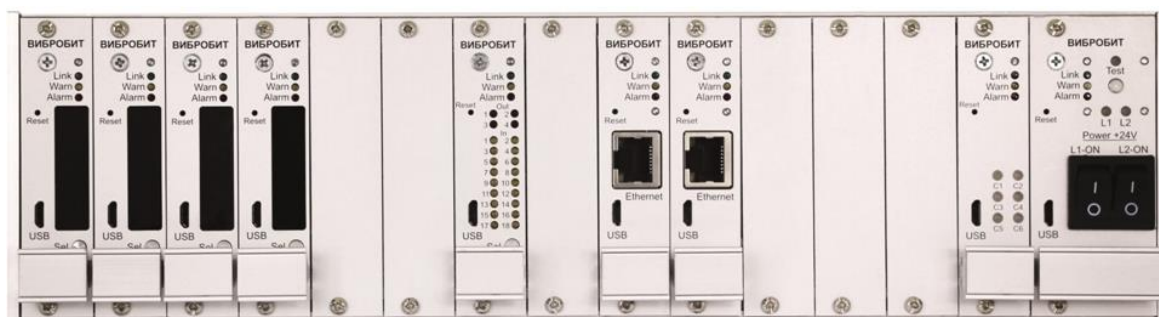


Рисунок 1. Установка модулей в каркасе блочном

В перечень измеряемых параметров входит:

- среднеквадратичное значение (СКЗ) виброускорения, СКЗ виброскорости опор подшипников;
- размах абсолютного виброперемещения опор подшипников;
- относительное виброперемещение вращающихся валов и других узлов;
- относительное смещение вращающихся валов;
- относительное смещение корпусов подшипников, положение запорных регулирующих органов;
- частота вращения ротора;
- температура узлов (первичные датчики - термосопротивления, термопары);
- другие физические величины (параметры), представленные унифицированным сигналом постоянного тока (первичные преобразователя с выходным сигналом по току).

Состав серии малогабаритных модулей предоставляет возможность построения оптимальных автоматизированных систем контроля механических величин и диагностики роторного оборудования.

Типы устройств, относящиеся к модулям контроля аппаратуры «Вибробит 500»: модули контроля измерительные, модули коммутационные, модули логики, модули

тестирования, модули генератора тестового сигнала, модули контроля питания, модули питания AC/DC, каркасы блочные.



а) модуль измерительный  
MM530-NAS01-UAT-DA

б) модуль коммуникационный  
MC540-CSD01-LA

Рисунок 2. Внешний вид модулей аппаратуры «Вибробит 500»

Модули контроля аппаратуры «Вибробит 500» предназначены для построения систем вибрационного контроля разной сложности, вплоть до крупных турбоагрегатов или распределенных систем с большим количеством технологического роторного оборудования.

В состав аппаратуры производства ООО НПП «ВИБРОБИТ» входят датчики со встроенной электроникой, размещаемой в корпусе датчика или в соединительном разъеме. Совмещение чувствительного элемента и нормирующего усилителя в одном корпусе (или в разъеме) позволяет:

- улучшить метрологические характеристики датчиков;
- расширить диапазон измерения по амплитуде и частоте;
- уменьшить габаритные размеры;
- упростить монтаж аппаратуры.

В зависимости от исполнения датчиков выходной сигнал представлен унифицированным током 4-20 мА или напряжением - стандарт подобный IEPЕ.



а) пьезоэлектрический датчик

б) вихретоковый датчик

Рисунок 3. Внешний вид датчиков со встроенной электроникой

Пьезоэлектрические датчик со встроенной электроникой предназначены для измерения абсолютной вибрации: виброускорения, виброскорости, виброперемещения. Вихретоковые датчик со встроенной электроникой предназначены для измерения: относительных перемещений, размаха виброперемещения, наклона поверхности относительно горизонта, частоты вращения.

Широкий рабочий температурный диапазон датчиков со встроенной электроникой от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$  допускает их установку непосредственно на оборудование, имеющее высокую температуру корпуса. Для более жестких условий работы датчика (диапазон температур до  $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) предусмотрен вариант исполнения с электроникой, размещаемой в цилиндрическом корпусе, вынесенном на расстояние до 2 м.

Организация передачи выборок первичного сигнала датчиков в аппаратуре контрольно-измерительной «Вибробит 500» реализуется двумя методами:

- Поточная передача по интерфейсу RS485 от модулей измерительных серии MM530, выполняющие основные контрольно-защитные функции в АСКВМ;
- Поточная передача по интерфейсу Ethernet от специализированных модулей MM540-ADC01-LA, MM540-ADC02-LA, предназначенных для выборки сигналов датчиков с высокой частотой дискретизации.

Основные характеристики параметров выборки сигналов датчиков в зависимости от типа применяемых аппаратных средств АСКВМ «Вибробит» представлено в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика потоковой передачи выборки сигнала модулями аппа-

ратуры «Вибробит 500»

Характеристика	Модули MM530	Модуль MM540-ADC01-LA	Модуль MM540-ADC02-LA
Интерфейс передачи	RS485	Ethernet	Ethernet
Число каналов потоковой передачи	1	6	2
Одновременная потоковая передача по каналам измерения	Нет	Есть	Есть
Синхронизация выборок между каналами	Нет	Есть	Есть
Разрядность АЦП, бит	Зависит от типа модуля	16	18
Максимальная частота дискретизации, Гц	32 768	81 920	256 000
Частота среза ФНЧ, кГц	12,5	25	80
Электрический сигнала датчиков	Зависит от типа модуля	0(4) - 20 мА, 0 - 20 В	0(4) - 20 мА, 0 - 20 В
Статус производства	Утвержденного типа СИ, поставляется в проекты	Утвержденного типа СИ, поставляется в проекты	Подготовка к утверждению типа СИ

Потоковая передача выборки сигнала датчика не блокирует контрольно-измерительные и защитные функции модулей.

В модулях серии MM530 реализовано два интерфейса RS485. Потоковая передача выборки сигнала осуществляется по интерфейсу RS485 №2, а управляющие команды передаются по интерфейсу RS485 №1 по протоколу ModbusRTU. На рисунке 4 представлен пример организации потоковой передачи выборки сигналов датчиков по интерфейсу RS485 с трансляцией в Ethernet интерфейс через модуль MC540-BASE-LA.

Ограничением передачи первичного сигнала датчика по интерфейсу RS485 является возможность выбора только одного канала, одного из измерительных модулей, подключенных к общему интерфейсу RS485.

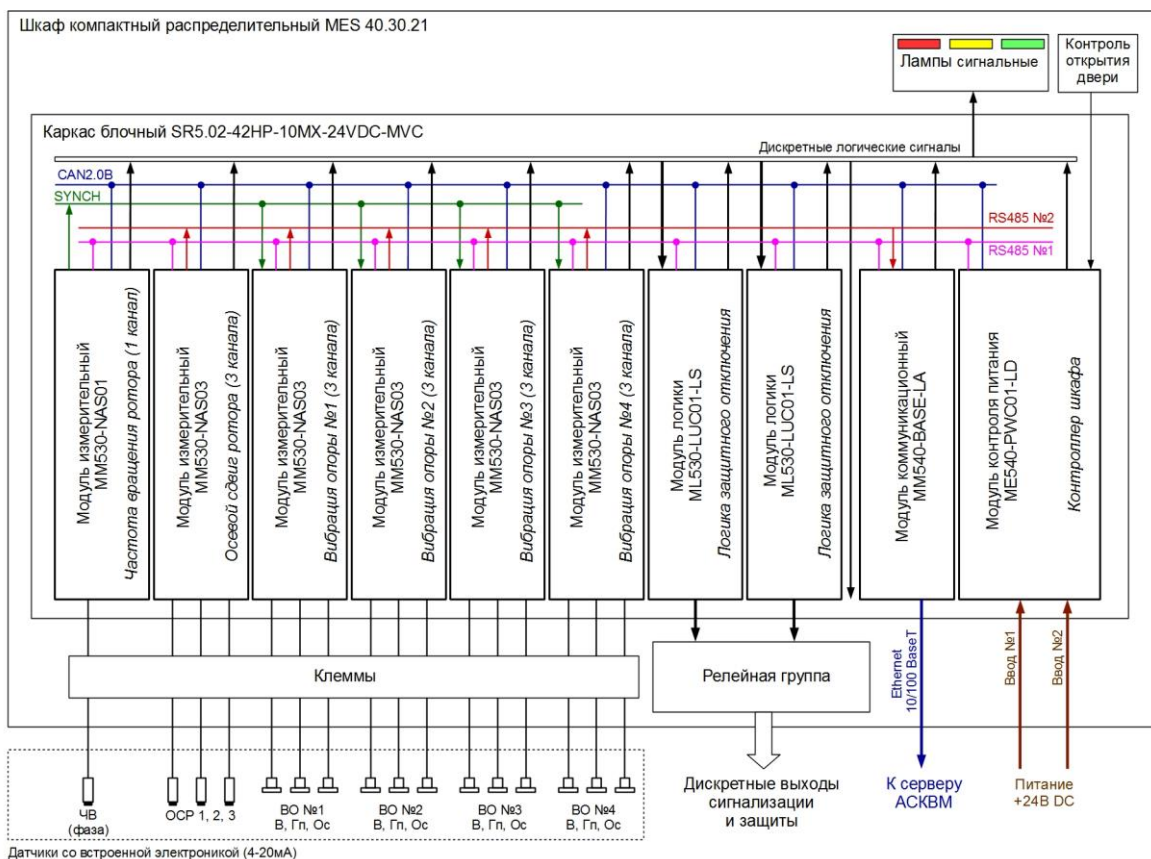
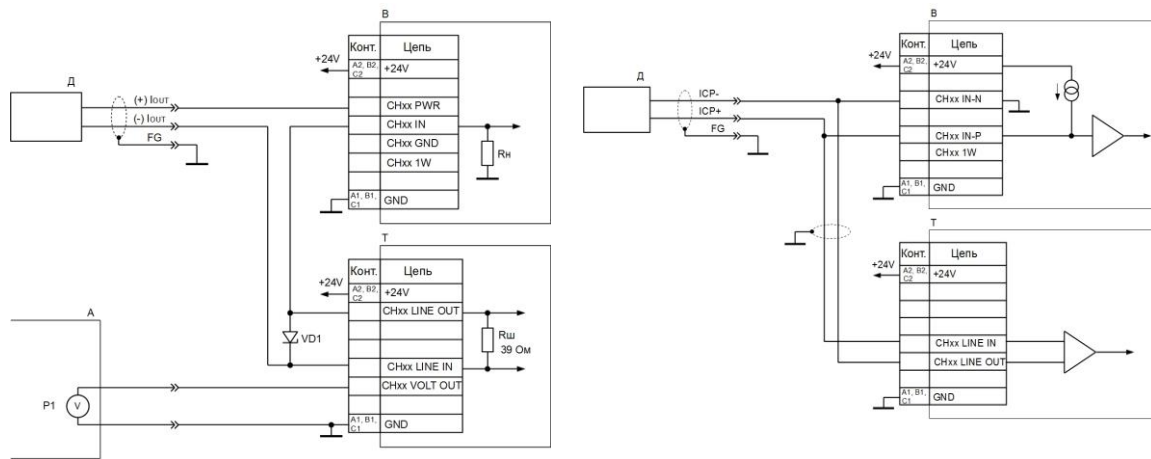


Рисунок 4. Шкаф контрольно-измерительный «Вибробит 500»

Модули измерительные MM540-ADC01-LA, MM540-ADC02-LA предназначены для организации потоковой передачи выборки сигналов датчиков по интерфейсу Ethernet независимо от модулей измерительных серии MM530. Подключение датчиков с электрическим сигналом ток осуществляется через резистор-шунт модулей MM540, а электрическим сигналом напряжение - параллельно модулям измерительным MM530. Электрические схемы подключения представлены на рисунке 5.

Каждый измерительный канал модулей MM540-ADC01(02)-LA имеет свой TCP порт подключения. При установке TCP/IP соединения автоматически начинается передача потоковых данных по специализированному протоколу, который поддерживает контроль целостности данных и возможность синхронизации выборок сигналов датчиков между измерительными каналами. К каждому измерительному каналу возможно установить до 4-х подключений.



а) электрический сигнал датчика - ток

б) электрический сигнал датчика - напряжение

Где:

Д - датчик

В - модуль измерительный контрольно защитных функций АСКВМ

Т - модуль измерительный MM540-ADC01(02)-LA

xx - номер канала измерения

Рисунок 5. Подключение модулей MM540-ADC01(02)-LA к датчикам

Модуль измерительный MM540-ADC01-LA имеет 6-ть независимых каналов измерения с частотой дискретизации до 81 920 Гц и предназначен для исследования сигналов датчиков абсолютной вибрации до собственных резонансных частот датчиков.

Модули MM540-ADC02-LA позволяют исследовать сигналы датчиков на резонансных частотах (например, для метода ударных импульсов или кавитационных процессов) т. к. максимальная частота дискретизации 256 000 Гц, разрядность АЦП 18 бит каждого из измерительных каналов.

Накопление выборки сигналов датчиков осуществляется в ИСВМ «Вибробит Web.Net.Monitoring», а их анализ в АСВД «Вибробит Web.Net.Diagnostics».

### **ИСВМ «Вибробит Web.Net.Monitoring». Организация сбора, накопления и представления для ручного анализа первичных вибрационных сигналов**

ИСВМ «Вибробит Web.Net.Monitoring» — это система, предназначенная для сбора, накопления и анализа вибрационных сигналов. Она обеспечивает захват сигнала, его накопление и расчёт спектров, а также представление данных в удобном для анализа формате.

Захват вибрационных сигналов осуществляется с модулей MM540-ADC01(02)-LA. Для этого используется собственный протокол, работающий через TCP/IP. Система позволяет одновременно захватывать несколько сигналов, что значительно увеличивает её функциональность и эффективность.

ИСВМ «Вибробит Web.Net.Monitoring» поддерживает два режима захвата сигнала:

- **По запросу пользователя:** Этот режим предназначен для ручного анализа. Пользователь может инициировать захват сигнала в любой момент, что позволяет оперативно получать необходимые данные для детального изучения.
- **В автоматическом режиме:** Этот режим используется для периодического захвата сигнала и расчёта спектров. Он позволяет автоматически получать данные с определённых узлов анализируемого агрегата в соответствии с заранее заданными настройками.

#### **Сигнал для ручного анализа**

Захват сигнала по запросу пользователя является ключевым функционалом системы. Он работает как для простых систем с одним сервером сбора данных, так и для сложных систем с резервированными серверами, например, для атомных электростанций (АЭС). Это обеспечивает высокую надёжность и доступность данных.

Накопленные сигналы сохраняются в архиве в собственном формате, что позволяет накапливать большое количество данных и обеспечивает их сохранность. Архивирование осуществляется в контролируемом контуре хранилища, что позволяет автоматически удалять старые сигналы по достижении определённого лимита хранения. Кроме того, пользователь может вручную управлять наполнением хранилища и удалять ненужные захваченные сигналы.

Помимо захваченного сигнала, система сохраняет выбранные отрезки сигнала и рассчитанные спектры. Эти данные также хранятся в контролируемом контуре, что обеспечивает их целостность и доступность.

Представление данных для ручного анализа осуществляется через веб-приложение «Вибробит Web.Net.Monitoring». Это позволяет пользователям легко просматривать и анализировать захваченные сигналы и спектры, используя интуитивно понятный интерфейс.

## **Сигнал для автоматического расчёта спектров**

Для автоматического расчёта спектров ИСВМ «Вибробит Web.Net.Monitoring» предоставляет возможность периодического захвата сигнала в соответствии с заданными настройками. Это позволяет получать спектры с требуемым количеством линий и частотным диапазоном для определённых узлов анализируемого агрегата.

Полученные спектры могут быть использованы как для ручного анализа в режиме просмотра текущих данных, так и для создания архива спектров в виде каскада. Это позволяет пользователям отслеживать изменения в вибрационных сигналах и проводить более глубокий анализ.

Сохранение спектров также осуществляется в контролируемом контуре хранилища, что обеспечивает автоматическую очистку старых данных и не требует дополнительного обслуживания. Кроме того, рассчитанные спектры могут быть использованы для автоматизированной диагностики с помощью системы «Вибробит Web.Net.Diagnostics», что значительно повышает эффективность мониторинга и анализа.

ИСВМ «Вибробит Web.Net.Monitoring» представляет собой мощную и гибкую систему для организации сбора, накопления и представления вибрационных сигналов. Она позволяет пользователям эффективно управлять процессом мониторинга, обеспечивая высокую точность и надёжность данных. Благодаря поддержке ручного и автоматического режимов захвата сигнала, а также возможности сохранения и анализа спектров, система является незаменимым инструментом для диагностики и контроля состояния различных агрегатов и оборудования.

## **АСВД «Вибробит Web.Net.Diagnostics». Ручной анализа вибрационных сигналов в АСКВМ «Вибробит». Функции, характеристики и примеры реализации**

### **Автоматизированный мониторинг и диагностика Web.Net.Monitoring**

По умолчанию в ППО Web.Net.Monitoring, непосредственно с аппаратуры, осуществляется сбор и хранение следующих параметров:

- СКЗ вибрации абсолютной и относительной вибрации и механических величин;

- гармоники и фазы вибрации вала;
- гармоники и фазы вибрации опор;
- СКЗ низкочастотной вибрации;
- смещение вала от состояние покоя, всплытие вала;
- АФЧХ на разгоне и выбеге;
- орбиты вибрации вала;
- орбиты вибрации опор;
- спектры вибрации в заданных диапазонах частот;
- тренды вибрации, механических величин, состояния АСКВМ;
- развитие дефектов роторного оборудования;
- матрица дефектов;
- диагностические сообщения, рекомендации.

Обозначенный перечень параметров является исчерпывающим для первоначального анализа технического состояния роторного оборудования, однако для детального анализа получаемых сигналов этого может быть недостаточно. Специалистами ООО «НПП «Вибробит» был разработан и внедрен раздел ручного анализа вибрационных сигналов.

### **Ручной анализ**

Данный раздел позволяет пользователю в ручном режиме получать временные сигналы по выбранному каналу и проводить расширенный анализ сигнала во временной и спектральной плоскости методами БПФ, с применением фильтрации и различных взвешивающих окон.

При первом открытии раздел имеет общий вид:

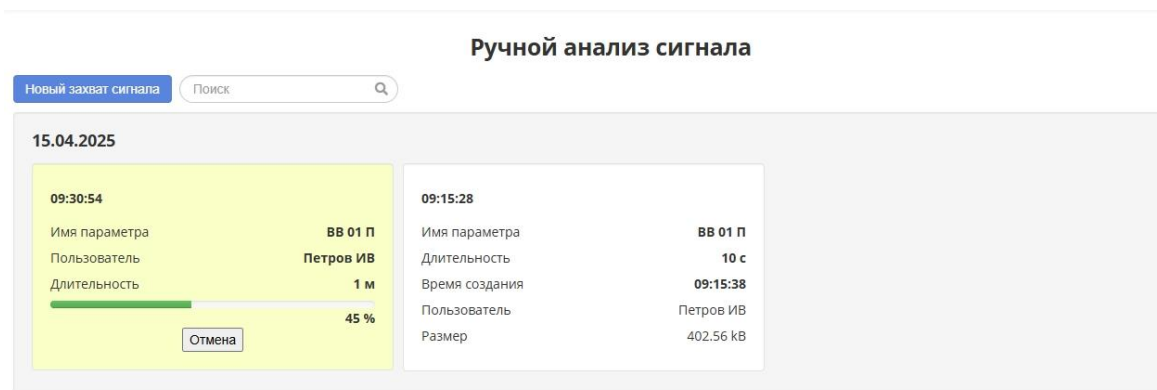


Рисунок 6. Общий вид раздела. Ручной анализ сигнала

Для осуществления захвата нового временного сигнала необходимо нажать на кнопку «Новый захват сигнала» и появится диалоговое окно конфигурации захвата нового сигнала, в котором необходимо выбрать измерительный канал, а также указать продолжительность записи нового сигнала.

В процессе захвата нового сигнала и его записи на жесткий диск компьютера пользователю доступен прогресс процесса захвата с возможностью отменить захват (запись).

По окончании записи нового сигнала на главной странице раздела «Ручной анализ» появится новая панель с возможностью выбора нового сигнала для дальнейшей обработки и анализа.

При выборе записанного сигнала открывается новая вкладка браузера с новым функциональным окном (рисунок 7).

Окно условно делится на 3 части. В верхней части окна располагается информация для отображения, кнопки выбора отображаемых величин и несколько функциональных кнопок.

Помимо кнопок отображаемых величин пользователю доступны кнопки «Экспорт данных» и «Печать», а также кнопки расчёта спектра или спектра огибающей.

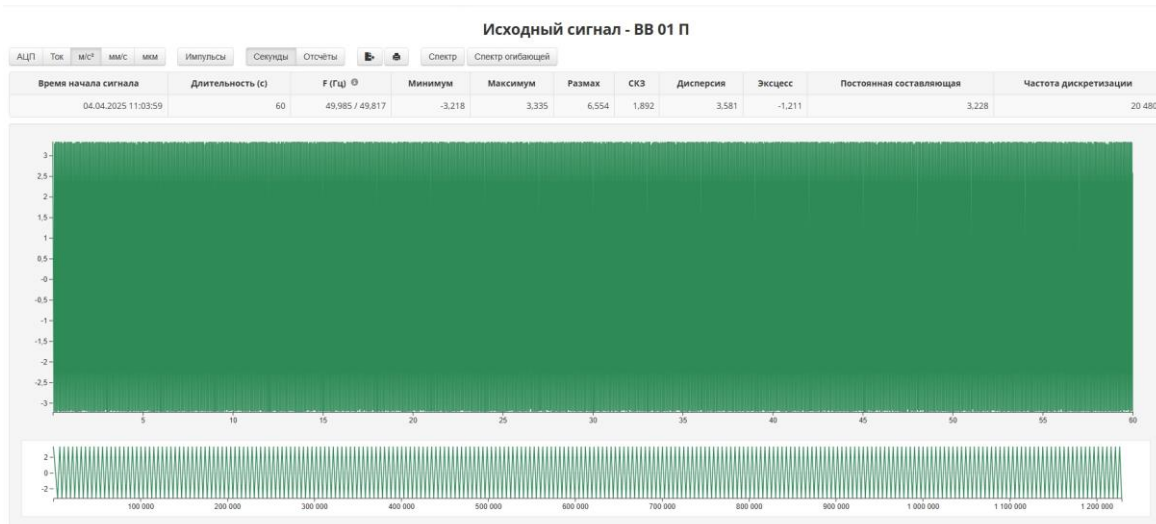


Рисунок 7. Ручной анализ сигнала. Временной сигнал

Средствами программы пользователь может провести пересчёт полученного сигнала виброускорения в сигнал виброскорости или виброперемещения путем интегрирования сигнала «на лету». В режиме отображения исходного сигнала в единицах виброскорости и виброперемещения пользователю доступен переключатель «Подавление ошибки интегрирования», позволяющий привести интегрированный сигнал к корректному виду.

Также на странице временного сигнала располагается панель статистических данных для данного сигнала либо участка сигнала. На данной панели отображается основная информация о файле, а также автоматически рассчитанные статистические коэффициенты для всего сигнала или выделенного участка, такие как минимальное и максимальное значение, размах и СКЗ сигнала, и также дисперсия и эксцесс.

На рисунке 8 располагается панель детального обзора сигнала и панель общего вида исходного временного сигнала.

При выборе участка сигнала на панели общего вида можно более подробно проанализировать форму временного сигнала на панели детального обзора или распечатать выбранный отрезок. При выборе участка сигнала пользователь может наложить поверх осциллограммы график импульсов синхронизации от датчика частоты вращения ротора.

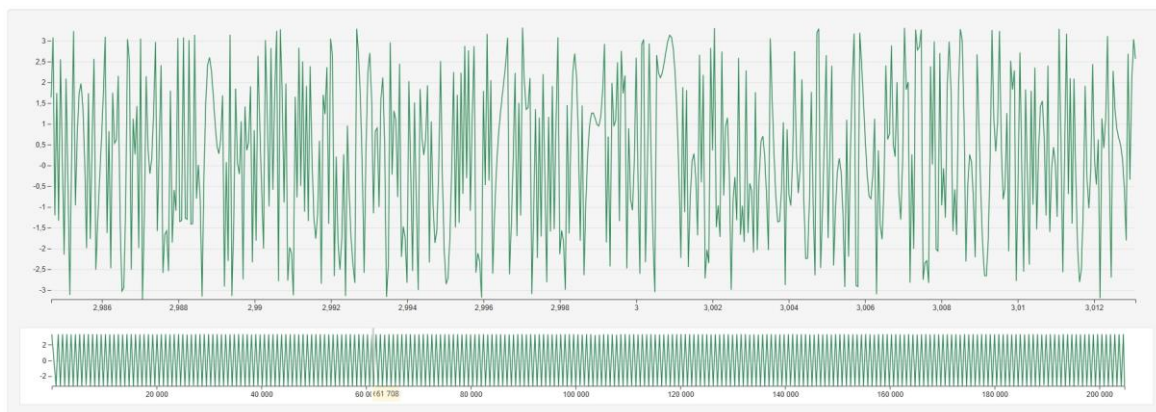


Рисунок 8. Ручной анализ сигнала. Панель детального вида сигнала

Далее если на функциональной панели выбрать «Спектр», то будет открыта новая вкладка работы со спектрами:

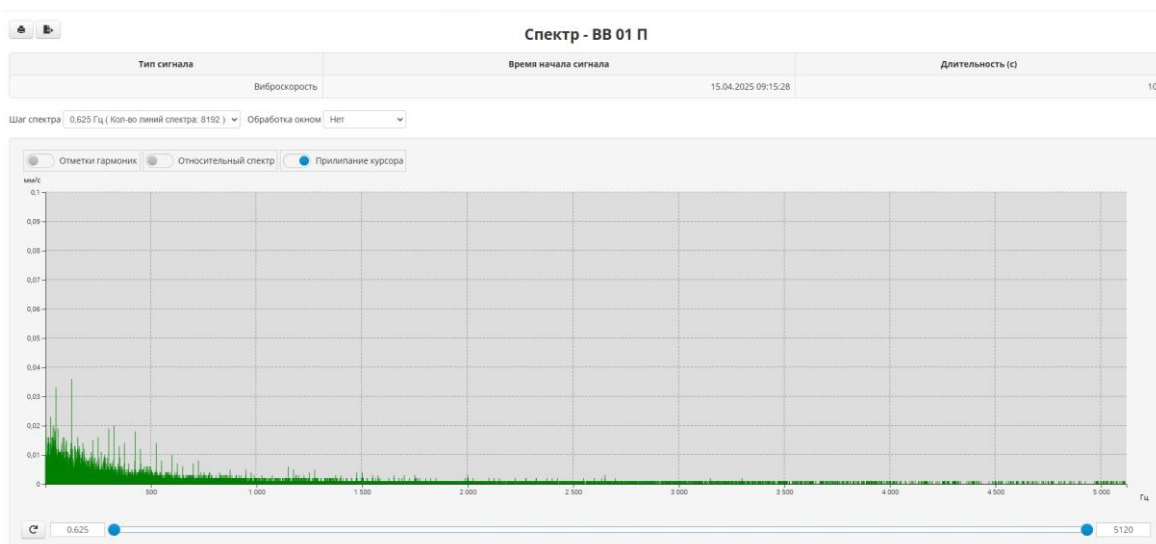


Рисунок 9. Ручной анализ спектра. Общий вид

Первоначальный спектр считается автоматически в доступном частотном диапазоне (Важно! Доступный частотный диапазон и частота дискретизации выбирается автоматически — максимально возможная для имеющейся аппаратуры проекта. Количество каналов которые могут быть переданы на захват определяется аппаратными возможностями на этапе проектирования АСКВМ).

На данной странице пользователю доступен функционал ручной обработки сигнала в спектральной области. Для чего в верхней части окна располагается информаци-

онная панель, где представлена основная информация о файле.

Ниже располагается панель отображения спектра и основные настройки отображения спектра. Для пользователя доступно изменение спектрального разрешения спектра, наложение взвешивающего окна, а также изменение частотного диапазона спектра «на лету».

На данной панели доступно так же отображение курсоров для гармонических и субгармонических составляющих спектра, преобразование спектра из линейных единиц ( $\text{мм/с}^2$ ,  $\text{мм/с}$ ) в относительные (дБ), так же доступна печать спектра с заданной конфигурацией.

В случае, если на панели «Исходный сигнал» выбрать «Спектр огибающей», то откроется новая вкладка для работы со спектром огибающей.

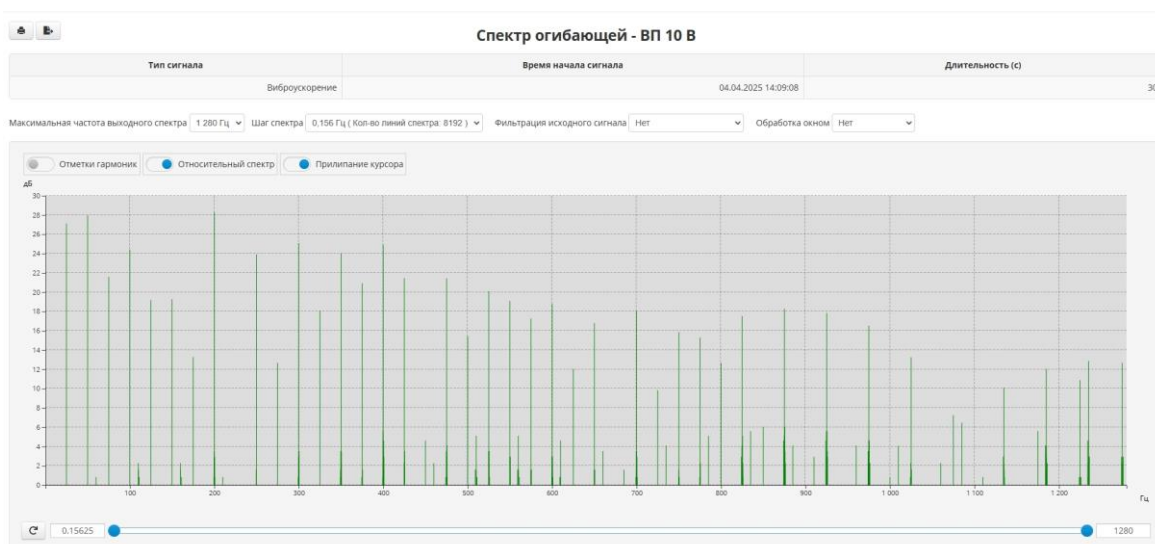


Рисунок 10. Ручной анализ спектра огибающей. Общий вид

На данной вкладке, также, в верхней части располагается информационная панель с основной информацией о файле.

Ниже располагается панель отображения спектра огибающей и функциональные кнопки для возможности конфигурирования данного спектра.

На данной панели автоматически строится спектр огибающей по заданным параметрам, при необходимости пользователь может сконфигурировать спектр, для чего доступно изменение частотного диапазона, фильтрации исходного сигнала (октавным либо третьоктавным окном), а также взвешивающие окна спектра.

Получившийся результат ручного анализа в разделах: исходный сигнал, спектр, спектр огибающей можно экспортировать в файл либо распечатать как есть.

После спектральной обработки исходного временного сигнала данные о спектрах не сохраняются в программе и при необходимости сохранения данных необходимо выполнять экспорт данных в файл.

Данные об исходных временных сигналах остаётся в программе и при необходимости может быть вызвана снова для анализа, спектральной обработки или вывода на печать.

Таким образом, раздел ручного анализа ИСВМ «Вибробит Web.Net.Monitoring», совместно с автоматизированным мониторингом и сбором основных вибрационных параметров позволят обеспечить полноценный анализ технического состояния роторного оборудования и своевременную диагностику дефектов данного оборудования.

### **Заключение**

Предлагаемые ООО НПП «Вибробит» технические решения и информационные технологии по реализации комплексной информационной системы мониторинга и диагностики оборудования промышленных объектов позволяют с функциями ручного анализа вибрационных сигналов:

- Повысить безопасность эксплуатации промышленных объектов за счет построения системы контрольно-защитного отключения и сигнализации, предотвращения механического разрушения технологического оборудования.
- Оценивать соблюдение технологической дисциплины эксплуатации промышленного оборудования.
- Проводить планирование ремонтных работ по фактическому состоянию оборудования, сокращая бюджет ремонтных работ.
- Сократить расходы на проведение регламентных и ремонтных работ, учитывая фактическое состояние оборудования.
- Контролировать в режиме «реального времени» экономические и производственные показатели подотчетных предприятий.
- Проводить анализ эффективности деятельности подотчетных подразделений с

высокой степенью достоверности без необходимости запроса данных у ответственных лиц на предприятии.

- Проводить научно-исследовательскую работу по оптимизации режимов работы технологического оборудования с целью увеличения срока службы промышленного оборудования, повышения технологической дисциплины.

ООО НПФ «Вибробит» намерено в дальнейшем продолжать разработку новых аппаратных и программно-технических средств для автоматизированных систем вибрационного контроля с целью повышения безопасности и эффективности эксплуатации промышленного оборудования.