



## ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ВИБРОДИАГНОСТИКИ SIPLUS CMS

В.А. Милаков (ООО "Сименс")

Обоснована актуальность задачи вибродиагностики оборудования и поиска неисправностей в условиях современных производств. Рассмотрено решение этих задач с помощью оборудования SIEMENS линейки SIPLUS CMS.

Ключевые слова: вибродиагностика, поиск неисправностей, системы предиктивного контроля состояния оборудования.

Средняя стоимость простоя оборудования на производстве — величина, которую можно легко рассчитать, не прибегая к сложным формулам. То же самое касается и сложности ремонта вышедшей из строя установки. Обе эти величины совершенно не включают затраты сил и времени персонала на авральные работы по восстановлению работоспособности предприятия.

Выполнение работ по техническому диагностированию и оценке остаточного ресурса технологического оборудования с помощью существующих методов визуального контроля — недостаточная мера для грамотной оценки состояния оборудования. Сотрудник службы эксплуатации может легко что-то пропустить. Не говоря уже о том, что заметные человеческому взгляду изменения в работе механизмов наступят слишком поздно, когда оборудование уже будет в опасном предаварийном состоянии. К сожалению, предотвратить снижение эксплуатационных характеристик оборудования невозможно. Длительные периоды непрерывной эксплуатации, высокие нагрузки, режим "старт-стоп" — все это неизбежно ведет к разрушению материалов.

Для решения таких насущных проблем производства, как непредвиденные простои и поломки все большую популярность набирают так называемые системы предиктивного контроля состояния оборудования [1, 2]. Действительно, возможность предсказать ту или иную неисправность — одна из немногих супер-способностей, о которых мечтает современный сервисмен. Для уверенности в эффективной защите установки необходимо контролировать ряд важных для конкретной задачи параметров. Наиболее значительными из них являются параметры, которые позволяют тем или иным образом характеризовать актуальное состояние установки. Механические вибрации крайне важны для подобных оценок. Огромное разнообразие видов вибрации, ее измеряемых характеристик и параметров — краеугольный камень любой современной системы диагностики.

Механические вибрации — прямой аналог звуковых волн с тем лишь небольшим исключением, что основной средой передачи волн механической вибрации является твердое тело. Довольно очевидно, что



Рис. 1

колебания твердого тела при нарастании неизбежно порождают и колебания газообразной среды — воздуха вокруг, что приводит к возникновению шума и специфичных звуков, которые часто сообщают нам о грядущей поломке, например, если дело касается автомобиля. Однако далеко не всегда эти звуки можно распознать в условиях производства. Более того, изменения в вибрационном спектре установки происходят обычно за месяцы до того, как можно будет обнаружить хоть какие-то отличия в слышимом звуковом спектре. Обычно следующим шагом является нагрев корпуса вблизи разрушающихся элементов, дым и неотвратимый выход из строя (рис. 1). Таким образом, изменения в вибрационном спектре — "первая ласточка" будущей неисправности.

Эпицентрами возникновения вибрации для любой установки являются точки приложения силы. По счастливому стечению обстоятельств обычно эти же самые места и являются наиболее частыми узлами возникновения неисправностей.

Итак, помимо несовершенства конструкции, причинами вибрации промышленной установки могут стать: дисбаланс; смещение движущихся элементов машины; разрушения подшипника; дефект передачи; магнитные, гидравлические или другие силы в зависимости от функционала установки.

Таким образом, с помощью методов, основывающихся на вибрационных характеристиках могут быть обнаружены следующие виды распространенных неисправностей машин и механизмов: разрушение подшипника; ошибки монтажа; разрушение передачи; осевой сдвиг; нарушения в работе ротора и/или статора; разрушение лопастей и т. д.

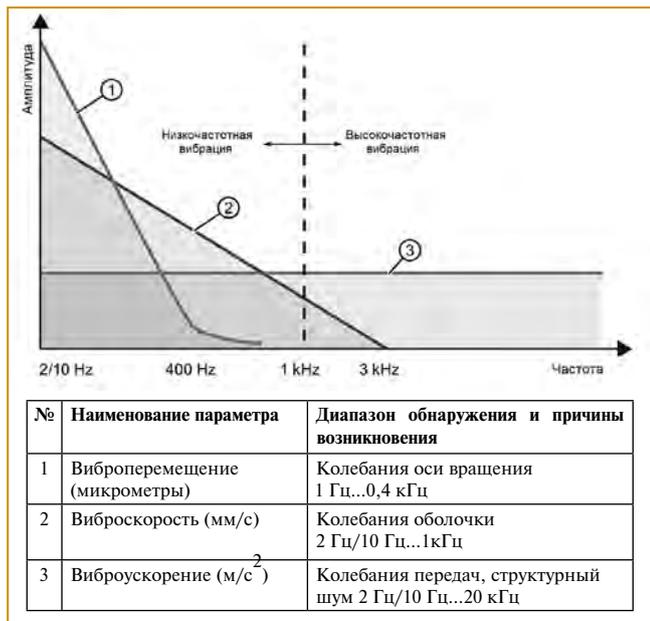


Рис. 2

Физические характеристики механических колебаний накладывают и ряд ограничений на измерение вибрационных параметров. Средой передачи механических колебаний является твердое тело. Подобно звуковым волнам, вибрации также имеют свойство угасать при отдалении от своего источника. Обычный путь передачи вибрации в машине — от движущихся частей установки — к ее неподвижным частям, а затем и к основанию установки. Наиболее характерной точкой для измерения параметров вибрации является сам движущийся узел. Однако монтаж датчика по понятным причинам в этих местах редко бывает возможен. Таким образом, наилучшим местом для монтажа вибрационного сенсора всегда будет наиболее близкая к месту предполагаемого возникновения неисправности точка.

Рис. 2 позволяет оценить, как амплитуды изменения трех основных вибрационных параметров (скорость, перемещение, ускорение) развиваются при росте частоты.

Далее необходимо определиться со средствами измерения выявленных параметров. Казалось бы, можно использовать датчики вибрации и ПЛК. Однако скорость обработки данных ПЛК не позволяет выполнять целый ряд привычных функций для задач вибродиагностики. Кроме того, характеристики выходного канала пьезоэлектрических вибрационных сенсоров не позволяют подключить его к ПЛК без применения сторонних дорогостоящих поканальных преобразователей, значительно увеличивающих стоимость и габариты оборудования

Следовательно, решение задач предиктивного мониторинга состояния оборудования находится

на данный момент за пределами компетенции общепромышленных контроллеров. Необходим некий узел, который сможет самостоятельно провести оценку состояния, сформировать отчет и сгенерировать управляющее воздействие на систему.

Именно для решения таких задач компания SIEMENS, основываясь на многолетнем опыте производства как электротехнических систем, так и сложного механического оборудования, подготовила для широкого рынка интеллектуальные системы обнаружения неисправностей из линейки SIPLUS Condition Monitoring System.

Система обнаружения неисправностей SIPLUS CMS — идеальное решение для мониторинга механических компонентов. Это возможность постоянно видеть оценку состояния всех машин и системы в целом 24 часа в сутки. Такой подход позволяет производить предиктивное обслуживание в отведенное для этого время в рамках, например, плановой остановки производства. Линейка оборудования, разработанная компанией SIEMENS, предполагает применение

трех различных подходов и трех концепций построения системы для задач поиска неисправностей.

### Система SIPLUS CMS1000

Младшая линейка оборудования SIPLUS CMS1000 (рис. 3) — аппаратный комплекс для задач мониторинга состояния одного подшипника. В короткий перечень устройств линейки CMS1000 входит только MEMS-сенсор и головной модуль, производящий все необходимые вычисления. Головное устройство CMS1000 представляет собой компактный модуль, предназначенный для монтажа на стандартную DIN-рейку. Ключевой особенностью решения на базе CMS1000 является простота. Предполагается, что ввести в эксплуатацию и использовать такую систему может персонал, не имевший ранее опыта работы ни с системами вибродиагностики, ни с системами автоматизированного управления.

Ввод в эксплуатацию крайне прост. Базовый модуль оснащен тремя функциональными клавишами и цифровым дисплеем — это все те нехитрые приспособления, которые необходимы для первичной настройки системы. Вход для источника питания тоже универсален и поддерживает работу как с источниками 24 В, так и 220 В. Вся необходимая в процессе эксплуатации информация будет отображаться на небольшом ярком дисплее. Типовое решение для контроля подшипника на базе CMS1000 и передачи сигналов в контроллер представлено на рис. 4.

Несмотря на всю внешнюю простоту системы и удобство для персонала, внутри все устроено гораздо сложнее. CMS1000 — интеллектуальное реле вибрации, позволяющее оценить состояние маши-



Рис. 3

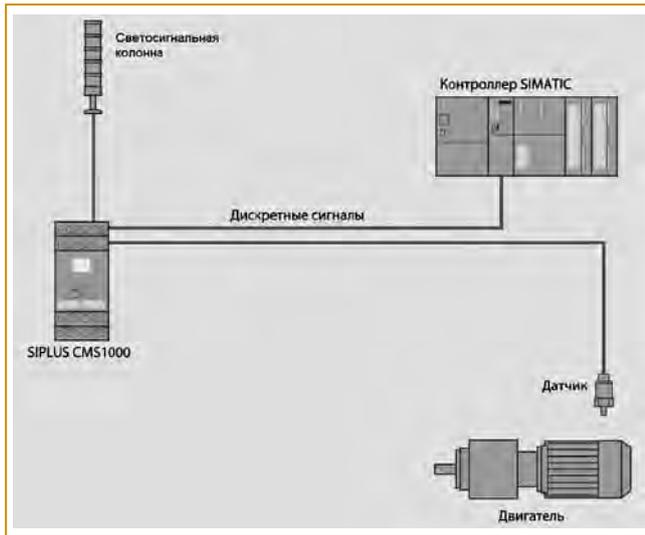


Рис. 4

ны. К головному модулю подключаются два датчика — датчик вибрации (MEMS-сенсор, входящий в перечень изделий системы) и любой доступный датчик скорости вращения двигателя. Здесь производитель также проявляет гибкость: скорость может быть заведена в систему как аналоговый сигнал по току или напряжению или, например, как дискретный сигнал на счетчик. Датчик скорости также может и отсутствовать (в таком случае, скорость вращения должна быть установлена как константа).

Система CMS1000 производит сбор и обработку информации, поступающей от датчиков для оценки состояния установки.

Оценка состояния подшипников производится с помощью метода, основанного на правилах немецкого технического регламента VDI 3832:2013–04, так называемом DKW-методе. Для правильной оценки состояния по этой методике после установки датчиков система проводит самообучение. В ходе самообучения CMS1000 определяет референтные значения параметров. В дальнейшем, в процессе эксплуатации базовый модуль будет собирать данные с датчиков, производить расчет характеристических величин и сравнивать их со значениями, полученными в процессе

самообучения. В случае превышения установленных пределов отклонения сработает один из дискретных выходов системы (“Предупреждение” или “Тревога”), и рассчитанное значение DKW отобразится на дисплее.

Вторая методика оценки, на которую способен комплекс на базе CMS1000 — это ИСО 10816, стандарт, значительно более знакомый на территории СНГ. Расчет основывается на среднеквадратичном значении (СКЗ) виброскорости. Формально СКЗ здесь и является индикатором состояния машины. Механизм предупреждения тот же, что и для DKW: срабатывание дискретных выходов модуля. Пределы срабатывания должны быть настроены наладчиком вручную. Однако сделать это действительно просто, если руководствоваться таблицей уставок из руководства к прибору или материалам ИСО 10816.

Однако системы уровня CMS1000 предназначены большей частью для мониторинга и базовой диагностики только одного узла одной установки. Этого бывает недостаточно для более серьезных задач.

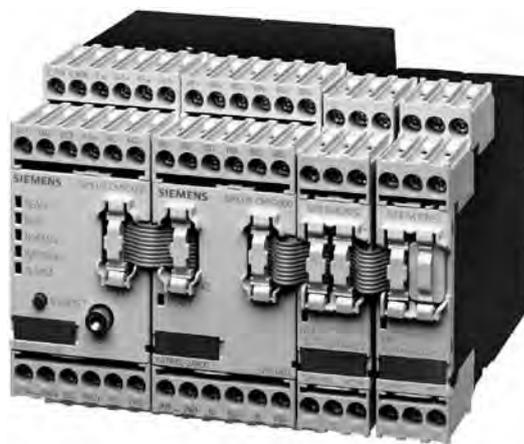


Рис. 5

**Модульная система CMS2000**

Первое значительное отличие системы среднего уровня CMS2000 — это модульность (рис. 5). Система построена на распространенной расширяемой базе SIMOCODE PRO, что позволяет легко компоновать набор модулей в зависимости от задачи (рис. 6). Таким образом, CMS2000 может

обрабатывать данные от 16 датчиков виброускорения, что позволяет уже с большим вниманием относиться к состоянию установки или, например, целой насосной станции. Конечно, виброускорение не является

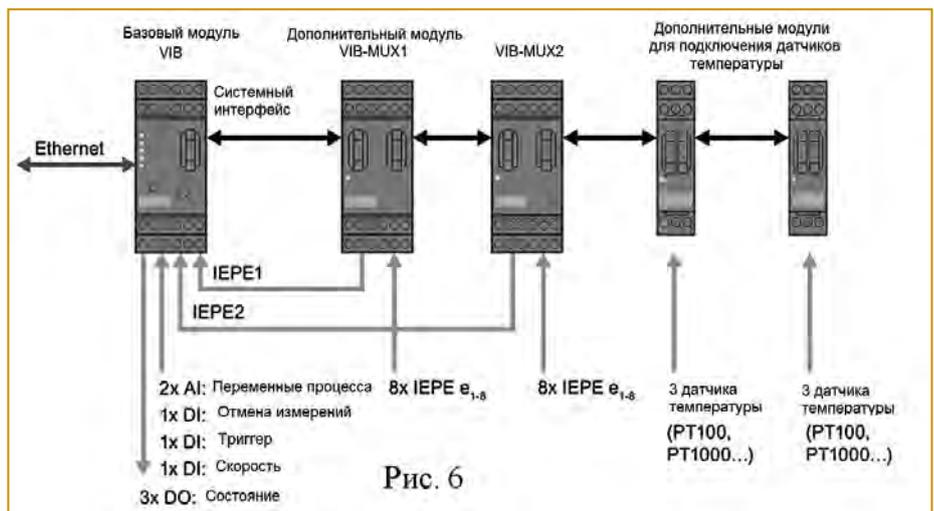


Рис. 6

Рис. 6

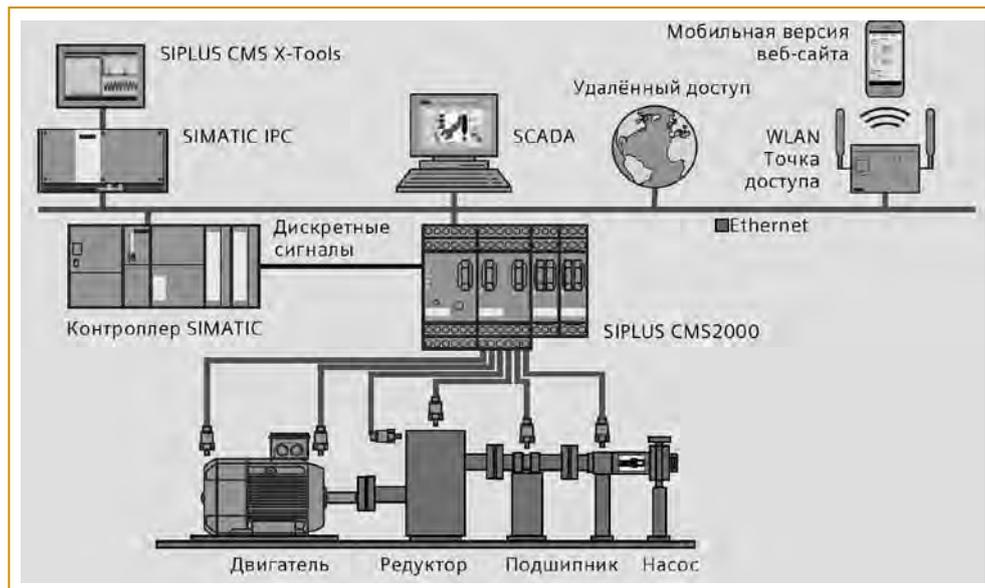


Рис. 7

единственным параметром, необходимым для оценки состояния машины, поэтому система может быть расширена также с помощью двух модулей ввода температуры по три канала из стандартной линейки SIMOCODE PRO. Базовый модуль CMS2000 также обладает возможностью подключения двух аналоговых каналов для оценки параметров процесса. Например, в качестве критерия оценки работы компрессорной установки, разумно было бы дать системе информацию о давлении в ресивере.

В оценке состояния машин и механизмов наравне со сбором данных крайне важную роль играет их анализ и обработка. В системах уровня CMS2000 все необходимые механизмы диагностики уже “защиты” в базовый модуль. Как и CMS1000, эта система обладает необходимым функционалом для оценки состояния механизма с помощью характерных величин СКЗ и DKW.

Однако самих по себе характерных значений недостаточно для точного определения места неисправности. Для решения этой задачи вибрационный “слепок” машины необходимо подвергнуть более глубокому анализу. Большая часть неисправностей легко обнаруживается с помощью спектрального анализа. Каждая неисправность обычно имеет свою характерную частоту или паттерн частот. Именно спектральный анализ является основой для системы диагностики на базе CMS2000. Для подробного анализа базовый модуль системы непрерывно производит мониторинг рассчитанных спектров виброскорости, виброускорения и огибающей вибросигнала. Уже на основании этих данных система формирует необходимые сообщения с точным указанием места и типа предполагаемой неисправности.

CMS2000 лишь немногим сложнее своего младшего брата в построении и настройке (рис. 7). Все управление непрерывным процессом диагностики

производится с помощью встроенного в головной модуль Web-сервера. Подключившись с помощью любого устройства посредством Ethernet можно провести настройку системы и оценить актуальное состояние машины. Конечно, подобный доступ не может быть предоставлен посторонним, поэтому сервер оснащен средствами, позволяющими гибко настроить политику безопасности и доступа персонала.

Любая подсистема современного производства должна отвечать важнейшему требованию интеграции в существующие АСУ технологическим процессом или предприятием.

Несмотря на наличие необходимости в применении системы непрерывной диагностики, никто не готов строить ее как некрасивый нарост на существующее решение. Разработчики системы CMS2000 учли этот недостаток систем подобного уровня и реализовали простой и гибкий механизм интеграции, практически независимый от существующей компонентной базы производства. Передача информации от системы вибродиагностики в иные системы верхнего уровня здесь построена на базе TCP/IP телеграмм. Базовый модуль формирует телеграмму, передающую всю необходимую информацию о работе установки. Наладчик должен лишь выбрать тип телеграммы и цикличность отправки. Телеграмма может содержать (в зависимости от типа) либо лишь базовую информацию о статусе установки, либо высокодетализированный отчет с актуальными значениями каждого измеренного параметра. Подобный отчет легко может быть принят и обработан не только с помощью ПЛК, но и напрямую панелью визуализации или компьютером.

#### Система SIPLUS CMS4000

Система рассматриваемого уровня, несмотря на ширину спектра возможных применений, все же обладает рядом конструктивных особенностей, накладывающих определенные ограничения. Так системы CMS2000 неприменимы для самых серьезных и сложных задач диагностики. Именно для решения таких задач и снятия любых ограничений компания SIEMENS представила свое наиболее гибкое и мощное решение — систему SIPLUS CMS4000 (рис. 8).

Это система с совершенно иным подходом к поиску неисправностей и иной философией построения. Число сигналов с датчиков, обрабатываемых

системой поиска неисправностей, для CMS4000 достигает уже 180 ед., а расстояние между двумя модулями системы с помощью оптоэлектрических преобразователей MCN11 может быть увеличено до 500 м. Только на основании этих двух характеристик можно определить предполагаемые области применения таких устройств. CMS4000 — это решение общепехового или лабораторного уровня (рис. 9).

Все остальные характерные черты системы лишь подтверждают этот довод. Протокол связи между устройствами системы CMS4000 — это хорошо зарекомендовавшая себя высокоскоростная последовательная шина IEEE 1394, более известная как FireWire. Выбор такого нетривиального для задач промышленной автоматизации интерфейса обусловлен необходимостью высокоскоростной передачи большого объема данных, снятых с датчиков с частотой дискретизации до 192 кГц.

Модули сбора данных CMS4000 имеют совершенно иной форм-фактор и обладают степенью пылевлагозащиты до IP67, что предполагает их установку вне шкафа. Как и CMS2000, система обладает возможностью подключения датчиков виброускорения с помощью модулей IFN VIB-A. Для подключения же аналоговых сигналов используются модули IFN AI и IFN AI-D. Буква D в наименовании третьего модуля — указание на то, что модуль обладает расширенным входным диапазоном по напряжению ( $\pm 20$  В), что как раз позволяет подключить без дополнительных преобразователей датчики виброперемещения, например, для контроля осевого сдвига.

Если какие-то данные, релевантные для диагностики оборудования, уже были собраны другими



Рис. 8

компонентами АСУТП, совершенно нет необходимости дублировать подключение всех датчиков. Система CMS4000 способна собирать и анализировать данные от любых других источников, способных к коммуникации посредством Profibus или Profinet, например, ПЛК линейки SIMATIC.

Датчик виброускорения для систем CMS2000 и CMS4000 универсален и представляет пьезокварцевый акселерометр с частотным диапазоном 0,5...15000 Гц. Сенсор подключается к модулям по стандартной двухпроводной схеме и передает измеренные значения с помощью аналогового сигнала по напряжению в диапазоне = (10...14) В. Условия применения ограничиваются температурным диапазоном (-50...120 °С) и степенью пылевлагозащиты IP65.

Одной из сложностей, с которыми приходится сталкиваться внутренним службам производства при введении в эксплуатацию систему поиска неисправностей, является необходимость дополнительного монтажа контрольно-измерительной аппаратуры на агрегаты и установки. Зачастую возникают опасения: не приведет ли нарушение целостности корпуса оборудования к снятию гарантийных обязательств? Если получить конкретный ответ на этот вопрос от поставщика оборудования не представляется возможным, наиболее безопасным будет осуществить монтаж датчика на поверхность одним из временных способов, например, с помощью магнитов. Указания и рекомендации по постоянным и временным способам монтажа датчика виброускорения внесены в системное руководство к CMS2000. Однако на практике обычно не приходится прибегать к таким ухищрениям и применяется классический монтаж с помощью шпилек М6/М8.

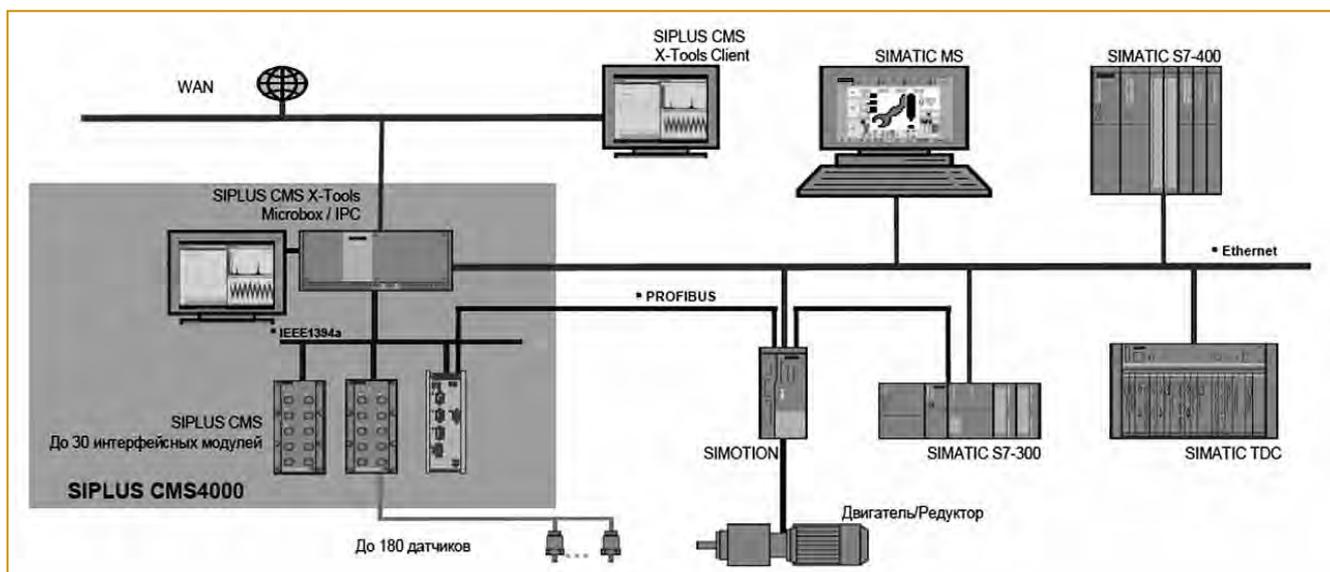


Рис. 9

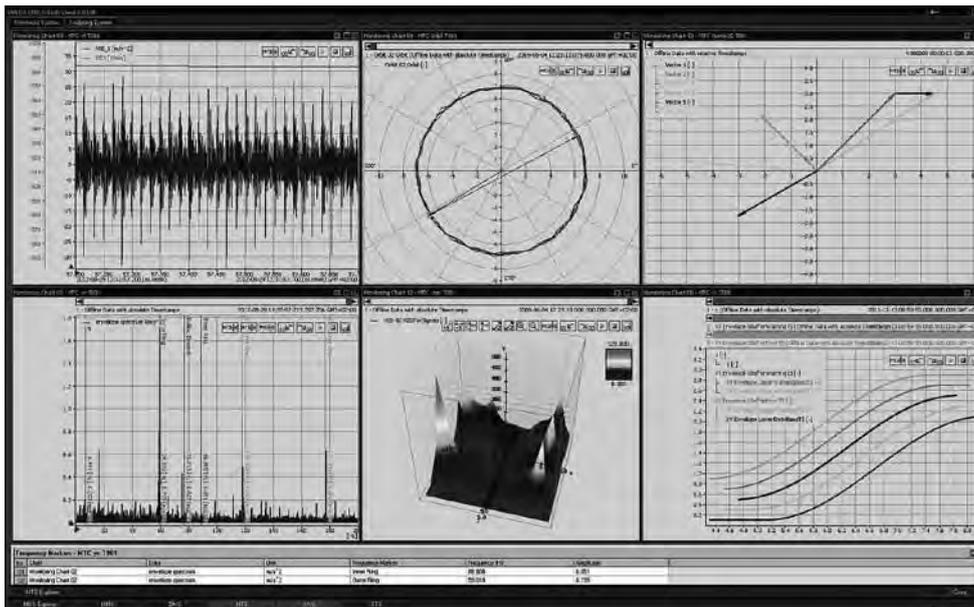


Рис. 10

Собранные таким образом данные необходимо грамотно оценить. В целях повышения производительности системы, способной записывать и обрабатывать до тысячи сигналов различных процессов, вычислительные мощности сконцентрированы на стороне промышленного компьютера с установленным программным пакетом CMS X-Tools.

Это комплект ПО, который особняком стоит среди других программных решений компании SIEMENS. Это мощный инструмент, предназначенный для конфигурирования систем, анализа данных, диагностики и архивирования параметров. Система оптимизирована для высокоскоростного сбора и анализа данных, поступающих от систем диагностики и управления. Частота дискретизации параметров до 192 кГц позволяет быть уверенным в том, что параметры даже самых быстрых и динамичных процессов будут должным образом записаны и обработаны.

Разработчики системы уделили большое внимание гибкости настройки режимов работы среды. Так,

*Милаков Владимир Андреевич – специалист по оборудованию ООО “Сименс” Цифровое производство. Контактный телефон +7 (495) 737-11-03. E-mail: Vladimir.Milakov@siemens.com http://dfpd.siemens.com*

**Проведена модернизация АСУТП установки подготовки нефти в "РН-Ставропольнефтегаз"**

Научно-производственной фирмой "КРУГ" совместно с фирмой "Югстрой" проведено расширение АСУТП установки подготовки и стабилизации нефти в "РН-Ставропольнефтегаз" (г. Нефтекумск) на базе программно-технического комплекса КРУГ-2000 (ПТК КРУГ-2000). АСУТП успешно эксплуатируется с 2003 г.

УПН "РН-Ставропольнефтегаз" мощностью 1,5 млн т/г предназначена для комплексной подготовки

визуальное представление данных может быть детально настроено вплоть до построения трехмерных диаграмм средствами OpenGL (рис. 10). Методики анализа и обработки данных также могут быть настроены вручную специалистом, если это необходимо. X-Tools представляет удобный интерфейс конфигурирования диагностических моделей, где с помощью стандартных программных блоков можно набросать фильтры и функции анализа любой сложности.

До сих пор споры о необходимости применения современных систем вибродиагностики на производствах активно подогреваются специалистами, которые используя нехитрые подручные приспособления, могут на слух определить разрушения шариков подшипника. Однако с течением времени, к сожалению, таких специалистов больше не становится, да и надежность такой "интуитивно-слуховой" диагностики в современном производстве уступает современным технологиям. Конкурентоспособные предприятия идут по пути преодоления закоренелости взглядов на применимость систем вибродиагностики и активно используют надежное оборудование, позволяющее существенно снизить затраты современного производства на обслуживание механизмов.

**Список литературы**

1. Шехватов Д.Б. Обслуживание по состоянию. Концепция RCM // Автоматизация в промышленности. 2012. №9.
2. Станция обслуживания PCS7 Maintenance Station // Автоматизация в промышленности. 2012. №9.

и стабилизации нефти. Продукцией установки является стабильная нефть, бензин газовый стабильный и газы стабилизации.

Расширение АСУТП связано с техническим перевооружением установки и организацией АРМ оператора (обходчика) печей П-201, П-201А. Выполнен комплекс работ по наладке ПТК и обновлению (апгрейду) ПО до версии 4.1 российской SCADA КРУГ-2000.

<http://www.krug2000.ru>