

## Предиктивная диагностика роторного оборудования, управление эксплуатацией на основе систем непрерывного и периодического вибрационного мониторинга

Основное назначение всех используемых на практике систем стационарного и периодического вибрационного мониторинга – организация управления эксплуатацией роторного оборудования по техническому состоянию. Только при таком подходе можно обеспечить минимизацию затрат на сервисные и ремонтные работы без снижения надежности работы оборудования.

Несмотря на внешнюю простоту такого принципа управления эксплуатацией, его практическая реализация сталкивается с необходимостью решения сложных технических и технологических задач, из которых можно выделить пять наиболее важных:

1. Обеспечение эффективного и достоверного контроля текущего технического состояния оборудования. Для его определения контролируемое оборудование необходимо оснастить средствами мониторинга и оперативной диагностики. Для роторного оборудования это преимущественно системы вибрационного контроля. Наиболее ответственное и дорогое роторное оборудование оснащается системами стационарного мониторинга различного уровня, техническое состояние остального оборудования контролируется переносными приборами в режиме периодического мониторинга.

2. Сбор и концентрация информации о текущем техническом состоянии на общем сервере управления эксплуатацией оборудования. На этом сервере должна быть собрана информация от всех систем мониторинга, используемых на предприятии. В него также должна вводиться и сохраняться данные обо всех выполненных дополнительных обследованиях, о проведенных ремонтных и наладочных работах. Сервер должен являться частью общей информационной системы предприятия. Такой подход позволяет не только использовать информацию о состоянии роторного оборудования в общей структуре АСУ-ТП станции, но и использовать данные от различных технологических систем мониторинга для уточнения диагностических заключений.

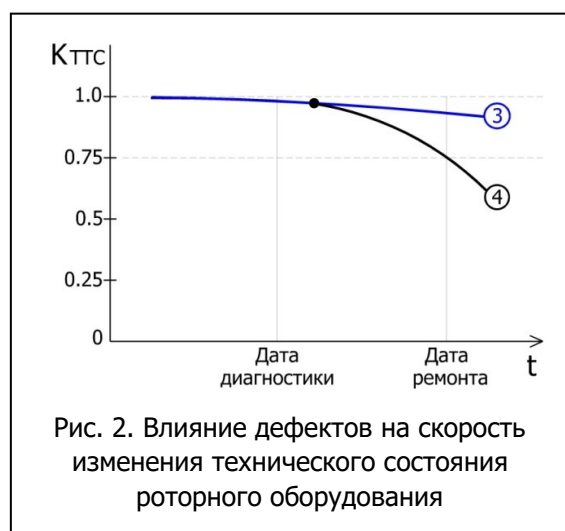
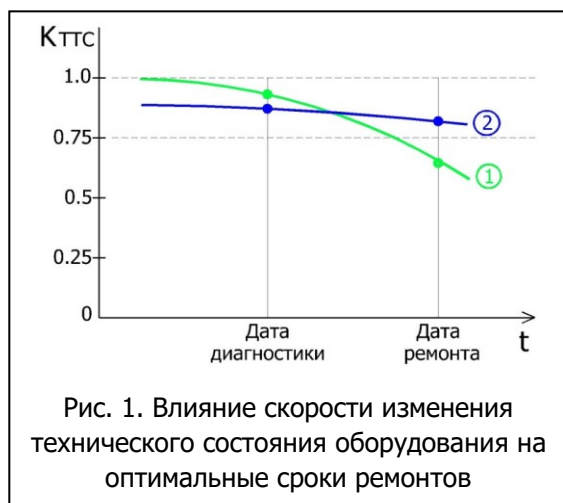
3. Оперативное автоматизированное определение текущего технического состояния оборудования, для чего в системе мониторинга оборудования комплексно используются два вида диагностики: параметрическая и экспертная. Наиболее просто качественная категория технического состояния оборудования определяется при наличии пороговых значений для контролируемых параметров. Например, для СКЗ вибрации повсеместно используются нормированные значения, поэтому сразу же после измерения вибрации оборудование можно отнести к одной из нормированных категорий качества: нормальное, тревожное или предаварийное состояние. Это классическая параметрическая диагностика.

Экспертная диагностика предназначена для выявления дефектных изменений, которые уже привели или могут привести к ухудшению технического состояния оборудования. Параметрические категории качества оборудования за счет экспертной диагностики только корректируются. Такая корректировка основана на использовании сравнительных категорий и параметров: наличие или отсутствие дефектов, степень их опасности, наличие тренда в развитии дефектов и т. д. Экспертная диагностика в системах мониторинга реализуется или на основе сформированных специалистами диагностических алгоритмов, или же на основе использования самообучающихся программ, относящихся к классу систем искусственного интеллекта. Поскольку классическая вибрационная диагностика роторного оборудования достаточно хорошо изучена, на практике чаще всего используются экспертные системы, работающие на основе фиксированных диагностических алгоритмов. Применение экспертных систем на основе искусственного интеллекта более трудоемко, но в конечном итоге в данном случае не приводит к существенному повышению достоверности.

Параметрическая диагностика эффективна для текущей оценки технического состояния оборудования, а экспертные алгоритмы ориентированы на оценку изменения состояния на будущих этапах эксплуатации, когда дефекты, развиваясь, будут ухудшать техническое состояние контролируемого роторного оборудования.

4. Для прогнозирования развития технического состояния оборудования используются различные математические модели, часто называемые цифровыми двойниками оборудования. Чем точнее основные процессы в цифровых двойниках будут соответствовать процессам изменения параметров в реальном оборудовании, тем эффективнее будет работать система управления эксплуатацией.

Использование цифровых двойников оптимальных сроков проведения ремонтов.



оборудования особенно важно при прогнозировании. За время, прошедшее с момента принятия решения о необходимости проведения ремонтных работ до момента проведения ремонтов техническое состояние оборудования может значительно измениться.

На рисунке 1 для примера приведены графики изменения технического состояния ( $K_{\text{ТТС}}$  – коэффициент текущего технического состояния) для двух одинаковых агрегатов.

В момент принятия решения о проведении ремонтных работ состояние агрегата 1 было лучше, чем у агрегата 2, поэтому принимается решение о проведении ремонтных работ на агрегате 2. Однако к моменту проведения запланированных ремонтных работ ситуация резко изменяется: техническое состояние агрегата 1 становится значительно хуже, и он в большей степени нуждается в ремонте.

Изменение технического состояния всего оборудования в процессе эксплуатации происходит по двум сценариям: нормальному (кривая 3), и аномальному (кривая 4 на рисунке 2). Нормальное изменение состояния происходит по мере постепенного износа и старения оборудования. На определенных этапах эксплуатации оборудования в нем возможно возникновение дефектов, каждый из которых начинает развиваться по своему сценарию, ускоряя процесс ухудшения состояния. Это дефектное, или аномальное, изменение технического состояния оборудования.

Изменение скорости аномального ухудшения параметров зависит от типа возникшего дефекта и особенностей конструкции оборудования. Корректно описать влияние различных дефектов на скорость изменения состояния оборудования в цифровом двойнике практически невозможно.

Оптимальным решением для учета аномальных процессов ухудшения состояния оборудования является использование адаптивных математических моделей (цифровых двойников), в которых производится автоматическая корректировка параметров, описывающих состояние оборудование. Целью адаптации является учет влияния выявленных экспертной системой дефектов и степени их развития. Процесс адаптации параметров модели приводит к тому, что в итоге для каждой единицы контролируемого оборудования создается своя уникальная математическая модель, максимально корректно учитывающая особенности конструкции и эксплуатации данного оборудования.

Каждый выполненный ремонт оборудования всегда приводит к изменению его эксплуатационных свойств и параметров, это ведь и является целью проведения ремонтных работ. После ремонта всегда изменяется коэффициент текущего технического состояния и возможная скорость его ухудшения. Для учета этих изменений практически всегда необходима дополнительная корректировка коэффициентов цифрового двойника агрегата. Проведение адаптации цифрового двойника (математической модели) в этом случае возможно только в автоматическом режиме. Очень сложной задачей является выявление факта проведения ремонта, информация о котором часто, по неким техническим и организационным причинам, может быть не внесена в общую базу данных системы мониторинга.

В заключение к вопросу о создании адаптивного цифрового двойника любого оборудования необходимо отметить следующее. Реальный объект представляет собой совокупность различных подсистем, каждая из которых реализует одну или несколько функций технологического агрегата. Например, для насосного агрегата это: электромагнитные процессы в электродвигателе, состояние опорных подшипников, состояние проточной части и осевого разгрузочного устройства, качество центровки механизмов в агрегате, состояние фундамента и т. д. Каждая из этих подсистем описывается своими параметрами и имеет свои дефекты и скорости ухудшения состояния. Более того, изменения в одной подсистеме часто оказывают влияние на другие параметры оборудования. Это приводит к тому, что

в итоговом цифровом двойнике оборудования необходимо учитывать и развитие каждой подсистемы, и возможные взаимные влияния локальных цифровых математических моделей отдельных подсистем.

5. Информация об итогах работы экспертного ядра системы мониторинга и управления обслуживанием предоставляется персоналу в двух видах: при помощи различных экранных форм на мониторе персонального компьютера и в виде отчетных справок, автоматически создаваемых экспертной системой по заказу пользователя. На основании этих отчетных справок персоналом формируются управляющие воздействия, определяющие параметры дальнейшей эксплуатации и необходимость применения сервисных и ремонтных работ.

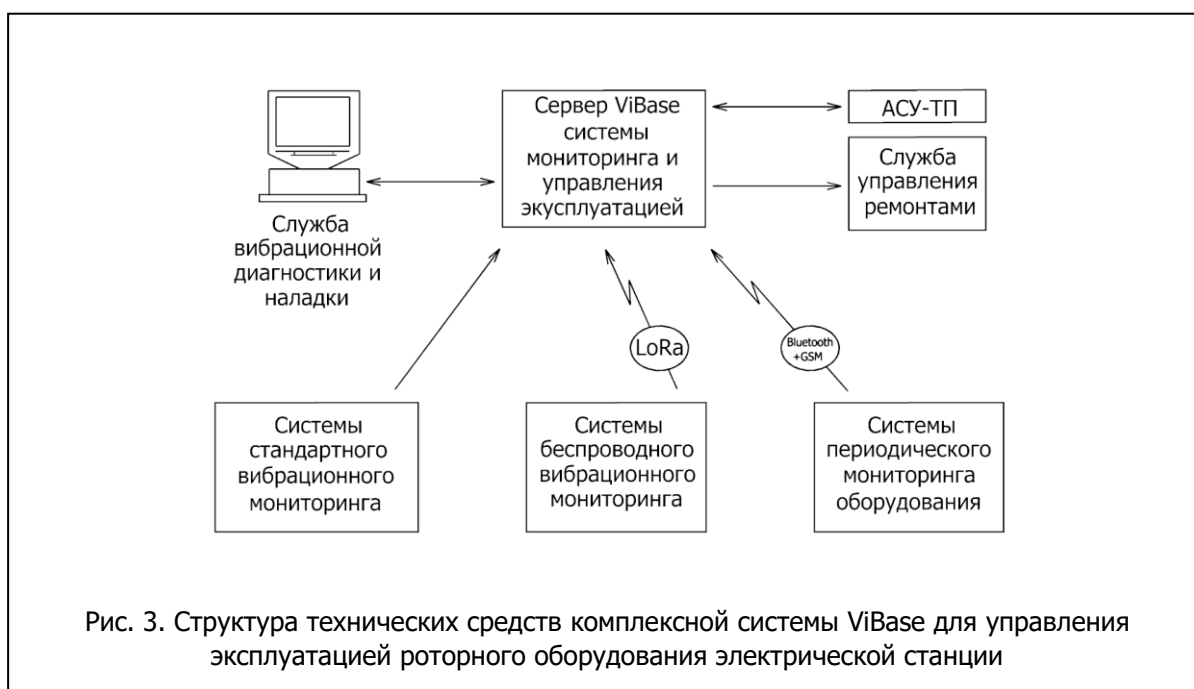
Особенно важным свойством в предложенной конфигурации системы мониторинга является то, что вся информация об оборудовании сконцентрирована на едином сервере. Такая конфигурация системы хранения данных позволяет постоянно совершенствовать функциональные возможности системы управления эксплуатацией оборудования.

Например, это позволяет оперативно перейти от системы раздельного управления эксплуатацией каждой отдельной единицы оборудования к системе управления эксплуатацией группы технологически взаимосвязанных агрегатов. В условиях электрической станции все роторное оборудование может быть объединено в отдельные, или взаимосвязанные группы по разным технологическим принципам: энергоблок, цех, функциональное и технологическое назначение оборудования, и программа мониторинга будет выделять в каждой группе критическое.

Основополагающим принципом при управлении технологической группой оборудования является принцип поиска и устранения «слабого звена» в группе или в цепи. Ремонтные и сервисные воздействия при таком подходе можно планировать в минимальном объеме, достаточном только для повышения уровня технического состояния только «слабого звена» до уровня других агрегатов технологической цепи, в которую он входит.

### 1. Структура системы управления эксплуатацией роторного оборудования

Организационная структура системы управления эксплуатацией роторного оборудования на примере электрической станции приведена на рисунке 3.



Все роторное оборудование станции контролируется при помощи систем непрерывного и периодического вибрационного мониторинга трех видов:

- Основное и наиболее ответственное и мощное роторное оборудование контролируется системами непрерывного мониторинга. На подшипниках таких агрегатов устанавливаются трёхосевые датчики контроля вибрации, сигналы с которых поступают по кабельным линиям в локальный шкаф системы мониторинга. В программном обеспечении системы мониторинга на аппаратном и алгоритмическом уровнях реализованы функции контроля, защиты и диагностики. Итоговая диагностика, оценка технического состояния и определение остаточного ресурса выполняются в программном обеспечении

центрального сервера управления эксплуатацией оборудования, вся необходимая информация передается по проводным информационным линиям связи.

- Ответственное и сравнительно мощное оборудование станции контролируется при помощи систем стационарного мониторинга, имеющих беспроводное исполнение и автономное питание. Это второй вид организации непрерывного мониторинга роторного оборудования. Такие системы мониторинга периодически включаются в работу через заранее определенные промежутки времени, например, через один час, проводят измерение вибрационных сигналов, диагностику дефектов, оценку остаточного ресурса. Всю исходную и диагностическую информацию такие системы передают по беспроводному интерфейсу в систему управления эксплуатацией оборудования. Недостатком таких систем мониторинга является отсутствие функции защиты по параметрам вибрации. Достоинствами являются простота монтажа и низкая стоимость.

- Все остальное роторное оборудование электрической станции контролируется в режиме периодического мониторинга, при котором измерения вибрационных параметров производятся эксплуатационным или диагностическим персоналом при помощи переносных приборов. Полученные исходные данные передаются на сервер системы управления эксплуатацией оборудования. Передача осуществляется или периодической перекачкой информации по кабелю из переносного прибора в компьютер системы АРМ, или по беспроводному телефонному каналу. Это самый дешевый, бюджетный уровень системы мониторинга вибрационного состояния оборудования.

Основу системы мониторинга и управления эксплуатацией оборудования станции составляет специализированный АРМ, программное обеспечение которого марки ViBase реализовано на сервере системы. С созданной базой данных о состоянии оборудования могут непосредственно работать специалисты в области вибрационного контроля, используя собранные данные для своих диагностических и наладочных работ, дополняя их своей информацией. Доступна WEB версия программного обеспечения, позволяющая удаленно просмотреть информацию о состоянии оборудования. Предусмотрена передача итоговой диагностической информации в систему АСУ-ТП более высокого уровня.

Экономическая эффективность системы мониторинга, диагностики и управления эксплуатацией роторного оборудования определяется соотношением двух основных параметров:

- Стоимость поставки технического оборудования и программного обеспечения мониторинга и диагностики и также текущие затраты на эксплуатацию такой системы.

- Реальный экономический эффект от внедрения системы мониторинга, заключающийся в снижении затрат на текущую эксплуатацию оборудования.

Потенциальный экономический эффект от внедрения систем мониторинга складывается из снижения затрат на устранение непредвиденных остановов оборудования и ликвидацию последствий аварийных ситуаций, предотвращенных системой мониторинга.

## **2. Технические средства вибрационного мониторинга оборудования**

Системы вибрационного мониторинга turbo- и гидрогенераторов являются важнейшей составляющей системы управления обслуживанием роторного оборудования электрических станций. В силу особенностей существующего нормативного обеспечения энергетической отрасли практически все такие агрегаты в настоящее время уже оснащены системами вибрационного контроля и мониторинга различных фирм-производителей диагностического оборудования.

Практическая эксплуатация имеющихся систем мониторинга в большинстве случаев подтвердила их высокую надежность и эффективность. Реальной необходимости в их модернизации, а тем более в замене, нет. Технические средства этих систем мониторинга соответствуют требованиям, которые предъявлялись к ним на момент их поставки и, в подавляющем большинстве, соответствуют требованиям сегодняшнего дня.

Информационным недостатком большинства систем мониторинга турбоагрегатов является то, что обработка первичной информации в них, в лучшем случае, завершается на этапе оперативной диагностики дефектов. Вопросы качественной и количественной оценки текущего технического состояния в этих системах обычно даже не рассматриваются, не формируются реальные практические рекомендации о возможных сроках дальнейшей эксплуатации агрегатов, о необходимых сервисных и ремонтных работах.

При создании современной комплексной системы управления эксплуатацией роторного оборудования электрической станции необходимо будет создавать или расширять информационный канал, по которому данные от систем вибрационного мониторинга турбоагрегатов будут передаваться на общий сервер системы ViBase управления эксплуатацией. Там вся полученная информация будет дополнительно анализироваться и обрабатываться, будет сгенерирован цифровой двойник, отображающий изменение вибрационного состояния турбоагрегата на текущий момент и на будущие периоды эксплуатации. После чего будут сформулированы необходимые рекомендации по оптимальному управлению эксплуатацией комплекса роторного оборудования энергоблока.

Сложнее на станциях решается вопрос с оснащением системами вибрационного мониторинга ответственного насосного оборудования, дутьевых вентиляторов и дымососов, от которых также зависит надежность работы всего энергоблока. Оптимальным вариантом контроля технического состояния этого оборудования также является установка на нем стационарных систем вибрационного контроля и диагностики.

Однако на практике этого чаще всего не происходит. Стоимость насосов и вентиляторов, входящих в состав роторного оборудования энергоблока, значительно меньше стоимости турбоагрегатов, все эти агрегаты проще по конструкции, поэтому установка на них традиционных систем вибрационного мониторинга, аналогично турбоагрегатам, экономически нецелесообразна.

Развитие микроэлектроники позволило создать новый класс систем вибрационного мониторинга, в которых датчик вибрации, процессор обработки информации и экспертная диагностическая система органически объединены в общем компактном моноблоке. К этому сейчас производители добавляют встроенную батарею длительного срока службы, до нескольких лет, и беспроводной интерфейс для передачи информации.

В результате получается система вибрационного мониторинга с уникальными эксплуатационными свойствами, простая в монтаже и практически не требующая обслуживания в процессе эксплуатации. Стоимость такой беспроводной системы вибрационного мониторинга, по сравнению с классическими «проводными» системами, меньше в 10-15 раз, что позволяет экономически эффективно использовать ее на агрегатах мощностью даже менее 1000 кВт.

Беспроводные системы вибрационного контроля, обладающие различными параметрами и возможностями, выпускаются несколькими фирмами в мире и в России. Все они имеют разную конструкцию и различаются по своему назначению.

### 2.1. Беспроводная система мониторинга марки ViBlock



Рис. 4. Беспроводная система вибрационного контроля марки ViBlock

По совокупности параметров для организации управления эксплуатацией роторного оборудования более всего подходит беспроводная система ViBlock отечественной разработки.

Прибор системы вибрационного мониторинга марки ViBlock предназначен для контроля важных технических параметров оборудования. Это:

- Вибрация контролируемой точки оборудования по трём осям.
- Температура оборудования в месте установки.
- Учет реальной наработки оборудования в часах.

Особенностью этой системы мониторинга является ее высокая интеллектуальность. Это обеспечивается тем, что при помощи встроенных в программное обеспечение экспертных алгоритмов ViBlock в автоматическом режиме решает все наиболее важные вопросы организации оптимальным управлением эксплуатацией и

обслуживанием роторного оборудования:

- Контроль времени реальной наработки.
- Параметрическая оценка текущего технического состояния контролируемого оборудования.
- Оперативная диагностика механических дефектов оборудования экспертной системой.
- Через заданный интервал времени, например, один раз в час, прибором производится полная регистрация вибрационных сигналов в трех направлениях, проводится их обработка, выполняется расчет спектров, диагностика дефектов, оценка технического состояния оборудования, определение остаточного ресурса в размерности оставшегося времени безаварийной работы.

Данные измеренных вибрационных и температурных параметров оборудования, а также результаты работы встроенных в ViBlock экспертных алгоритмов, по беспроводному интерфейсу оперативно передаются в основное программное обеспечение мониторинга марки ViBase.

Основой для анализа и автоматизированной диагностики дефектов оборудования служат сами вибрационные сигналы, их интегральные параметры, спектры, эксцессы и другие математические представления, которые рассчитываются непосредственно в программном обеспечении ViBlock.

В зависимости от того, на каком типе оборудования установлен прибор ViBlock, программное обеспечение в автоматическом режиме диагностирует характерные часто встречающиеся дефекты, свойственные этому типу контролируемого оборудования, всего запрограммирована диагностика до 12 видов различных дефектов.

Для приводных электродвигателей агрегатов экспертной системой выявляются дефекты подшипников качения и скольжения, контролируется наличие небалансов, выявляются проблемы

электромагнитного характера. Для насосов дополнительно контролируется состояние проточной части (лопаток насоса). Для вентиляторов в экспертной системе оценивается текущее техническое состояние лопаточного аппарата и т. д.

Вся диагностическая информация от всех устройств ViBlock, смонтированных на механизмах одного агрегата, интегрируется в программное обеспечение общей системы мониторинга ViBase. Это позволяет комплексно оценивать состояние оборудования и диагностировать сложные дефекты оборудования уровня «агрегат», такие как расцентровка механизмов, дефекты фундамента.

Информация от приборов ViBlock передается в смартфон или в систему АСУ-ТП при помощи двух встроенных беспроводных интерфейсов, имеющих различные функциональные возможности.

При помощи беспроводного интерфейса связи Bluetooth производится оперативная передача полной первичной вибрационной и итоговой диагностической информации, включая форму сигнала и спектры, но только на сравнительно небольшое расстояние, до 10÷30 метров. При помощи этого интерфейса со смартфона или с удаленного компьютера через специализированный модуль беспроводной связи марки WDM можно производить оперативную настройку параметров работы системы мониторинга.

При помощи интерфейса беспроводной связи марки LoRa (Long Range) информация о результатах работы системы мониторинга может передаваться на большие расстояния, до нескольких километров. Сложностью является то, что при использовании этого интерфейса возможна передача только небольшого объема данных – в лучшем случае это интегральные параметры вибрационных сигналов и основные результаты работы экспертной системы.

Важным достоинством применения беспроводного интерфейса LoRa является высокий уровень информационной безопасности за счет использования при передаче двойного шифрования данных.

Информация от приборов системы мониторинга ViBlock в систему управления эксплуатацией оборудования собирается при помощи стандартных приемников, которые используются в системе беспроводной передачи информации марки LoRa. С помощью одного приемника можно интегрировать информацию от 200 приборов марки ViBlock, расположенных в радиусе до 1 км. При очень плотной установке оборудования в условиях некоторых промышленных предприятий радиус сбора информации может несколько уменьшиться. Приемники системы LoRa подключаются к системе АСУ-ТП при помощи стандартных проводных или оптических линий связи.

В составе сложных агрегатов приборы системы мониторинга ViBlock стандартно устанавливаются по одному на каждом технологическом механизме: на электродвигателе, насосе, вентиляторе, редукторе и т. д. Для эффективного мониторинга больших и более ответственных агрегатов и механизмов приборы системы ViBlock могут устанавливаться на каждом контролируемом подшипнике, т. е. по два и более на одном механизме. Это повышает информативность работы, но одновременно увеличивает стоимость технических средств системы мониторинга.

Технические параметры прибора системы ViBlock:

Количество каналов вибрации	3
Диапазон контролируемых частот, Гц	10 ÷ 1000
Встроенный датчик температуры	Да
Температура эксплуатации прибора, °С	-40 ÷ +70
Время работы от сменной батареи, не менее, лет	5
Размеры прибора ViBlock, мм	42*62*116
Масса прибора, кг	0,25

По заказу может быть поставлена версия ViBlock-L с рабочим диапазоном частот 0,5÷200 Гц для контроля низкооборотного оборудования с частотой вращения от 30 оборотов в минуту, например, гидрогенераторов.

Для предприятий с режимными условиями эксплуатации роторного оборудования может быть поставлена специализированная версия системы ViBlock-E в искробезопасном исполнении 1ExibIAT3GbX, предназначенная для работы в опасных средах.

## 2.2. Компактный виброметр ViPen с беспроводным интерфейсом связи

Современные технические решения используются и в конструкции переносных виброметров, при помощи которых осуществляется периодический вибрационный мониторинг того оборудования, на котором экономически неэффективно монтировать стационарные системы мониторинга.

Примером такого универсального прибора является ViPen – компактный современный виброметр с дополнительными функциями контроля температуры и диагностики подшипников качения.

Габариты виброметра марки ViPen позволяют легко помещать его в карман одежды, поэтому он относится к классу виброизмерительных приборов, которые часто называют виброручками.





Рис. 5. Виброметр марки ViPen с беспроводным интерфейсом связи. Вверху показан прибор ViPen в пластиковом корпусе, внизу - в металлическом

- Особенности и достоинства виброметра ViPen:
- В корпус виброметра встроены датчик вибрации и дистанционный датчик температуры.
  - Прибор оснащен ярким экраном, который работает при температуре от -20 градусов.
  - Удобный по форме корпус, экран закрыт ударопрочным стеклом.
  - Включение и управление режимами работы прибора осуществляется при помощи одной сенсорной кнопки.
  - Время непрерывной работы от аккумулятора не менее 8 часов.

В программное обеспечение ViPen встроена автоматическая диагностика подшипников качения. Результаты диагностики отображаются на экране прибора с использованием графического символа вращающегося подшипника качения. По результатам проводимой автоматизированной диагностики,

реализованной в ViPen, подшипник относится к одной из трех категорий качества:

- Хорошее состояние, символ подшипника на экране вращается равномерно и быстро.
- Удовлетворительное состояние, есть дефекты, подшипник вращается медленно.
- Предварийное состояние, символ подшипника на экране мигает и не вращается.

Информация о результатах вибрационной диагностики подшипника качения в приборе ViPen может быть уточнена информацией о температуре подшипникового узла. Этот параметр автоматически контролируется прибором ViPen при помощи встроенного дистанционного пирометра одновременно с измерением вибрации.

Для заказа доступны несколько модификаций виброметра, различающиеся своими параметрами. В первую очередь это два различных конструктивных исполнения виброметра ViPen – в металлическом и пластиковом корпусах, имеющих одинаковые возможности для измерения и анализа вибрационных сигналов (см. рисунок 5).

Прибор в пластиковом корпусе в основном предназначен для использования в сложных условиях эксплуатации, при высокой запыленности, в присутствии агрессивных внешних факторов. Он имеет дополнительные герметизирующие прокладки, защитное стекло на пирометре, беспроводную зарядку встроенного аккумулятора. На корпусе прибора полностью отсутствуют какие-либо разъемы или технологические отверстия.

Виброметр марки ViPen может поставляться со встроенной функцией передачи зарегистрированной информации по беспроводному интерфейсу Bluetooth в смартфон или на планшет, действующей на расстояние до 3 метров.

При совместном использовании виброметра ViPen и смартфона со связью между ними при помощи беспроводного канала связи все управление функциями виброметра может осуществляться со смартфона. Внешний вид экрана смартфона с информацией, переданной по беспроводному интерфейсу от виброметра, показан на рисунке 6.

Дополнительно к величине СКЗ вибрационного сигнала и параметрам технического состояния контролируемого подшипника качения на экране смартфона можно просмотреть спектр вибрационного сигнала, что значительно расширяет диагностические возможности виброметра ViPen, превращая компактный виброметр в анализатор вибрационных сигналов начального уровня.

Всю полученную из виброметра информацию можно сохранить в памяти смартфона. При необходимости эта информация может быть передана на сервер системы управления эксплуатацией роторного оборудования по имеющимся телефонным каналам. Для автоматической идентификации пересылаемой информации, необходимой для корректного автоматического занесения ее в базу данных, при помощи смартфона можно считать QR-метку агрегата, заранее установленную на нем.

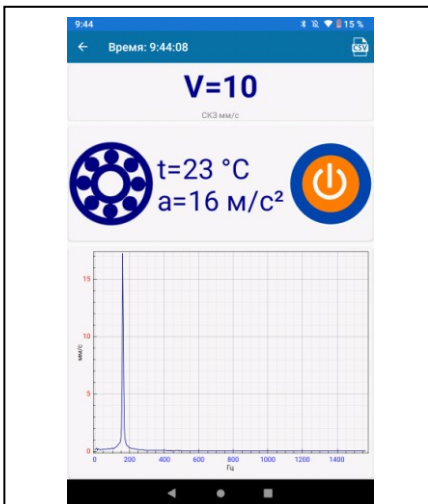


Рис. 6. Информация о вибрационном состоянии оборудования, показываемая на экране смартфона

оборудования по имеющимся телефонным каналам. Для автоматической идентификации пересылаемой информации, необходимой для корректного автоматического занесения ее в базу данных, при помощи смартфона можно считать QR-метку агрегата, заранее установленную на нем.

Технические параметры ViPen:

Частотный диапазон измерения вибрации, Гц	10 ÷ 1000
Диапазон измерения СКЗ виброскорости, мм/сек	1 ÷ 70
Диапазон измерения температуры, °С	-40 ÷ 150
Размеры виброметра ViPen, мм	40*145*15
Масса виброметра, г	140

Промышленное использование более чем 600 приборов марки ViPen на нескольких предприятиях с общим количеством контролируемого роторного оборудования более 10000 единиц подтвердило их высокую эффективность.

Практически 80% поставленных приборов ViPen работают в составе комплексных систем управления эксплуатацией оборудования предприятия. Они проводят измерения и передают исходную информацию через смартфоны персонала по телефонным каналам GSM на общий сервер системы управления обслуживанием оборудования.

### 2.3. Сборщик-анализатор вибросигналов ViPen-2 с беспроводным интерфейсом

Переносной прибор марки ViPen-2 является автономным интеллектуальным сборщиком и анализатором вибрационных сигналов, оптимизированным для проведения оперативных измерений с помощью смартфона в целях подготовки данных для работы комплексных систем диагностики и управления эксплуатацией роторного оборудования.



Рис. 7. Беспроводной регистратор вибрационных сигналов марки ViPen-2

Для удобства проведения измерений и анализа вибрационных параметров в сложных условиях эксплуатации прибор имеет полностью защищенное конструктивное исполнение.

Основной его особенностью является полное отсутствие на корпусе элементов контроля и управления. У него нет ни экрана, ни клавиатуры управления, нет даже кнопки включения.

Прибор ViPen-2 имеет встроенный широкополосный датчик для измерения вибрационных сигналов, поэтому у него нет внешних разъемов. Даже зарядка встроенного в прибор аккумулятора производится от стандартного

беспроводного устройства, используемого для зарядки аккумуляторов смартфонов.

Управление функциями работы сборщика-анализатора ViPen-2 производится дистанционно со смартфона пользователем с использованием стандартного беспроводного интерфейса связи Bluetooth. Все зарегистрированные и преобразованные вибрационные сигналы показываются на экране управляющего смартфона. Информация от ViPen-2 при помощи программных средств управляющего смартфона может передаваться на общий сервер, на котором находится общая база данных.

При помощи переносного измерительного прибора марки ViPen-2 производится полный цикл сбора, обработки и анализа вибрационных сигналов:

- Регистрация временной формы сигнала в разных диапазонах частот.
- Анализ сигналов в размерности виброускорения, виброскорости и виброперемещения.
- Расчет интегральных параметров: пик-пик, размах, среднее значение, СКЗ.
- Расчет спектров вибрационных сигналов с разрешением до 3200 линий в спектре.

В программное обеспечение прибора ViPen-2 встроены алгоритмы для проведения оперативной оценки технического состояния и диагностики дефектов подшипников качения.

Для расширения диагностических возможностей прибор ViPen-2 оснащен встроенным датчиком температуры (пирометром), предназначенным для дистанционного контроля температуры оборудования. Для работы в сложных условиях эксплуатации датчик прибора защищен специальным стеклом, пропускающим тепловое излучение контролируемого объекта.

Рабочим, метрологически поверенным для прибора ViPen-2, является стандартный диапазон частот от 10 до 1000 Гц. Реальный диапазон рабочих частот прибора ViPen-2 значительно шире и включает в себя не только стандартный диапазон, но еще и два дополнительных:

1. Низкочастотный диапазон частот от 0,5 Гц до 50 Гц. Измерения в этом диапазоне частот позволяют контролировать состояние низкооборотных агрегатов, начиная от 30 оборотов в минуту.

2. Высокочастотный диапазон от 500 Гц до 10000 Гц для сигнала огибающей виброускорения. Измерения в этом диапазоне частот позволяют контролировать высокочастотные механические и электромеханические процессы.



В силу конструктивных особенностей прибора компактного исполнения (единый блок с датчиком вибрации), а также из-за использования для оперативных измерений вибрации щупа или магнитного крепления, в дополнительных диапазонах частот прибор ViPen-2 только калибруется на заводе-изготовителе.

Особенности прибора ViPen-2:

- Датчик вибрации и датчик температуры встроены в корпус прибора.
- Корпус прибора не имеет органов управления и внешних разъемов.
- Прибор поставляется в компактном и прочном металлическом корпусе, который максимально защищает прибор от воздействий агрессивной внешней среды.
- Время непрерывной работы прибора ViPen-2 от встроенного аккумулятора не менее 12 часов.
- В прибор ViPen-2 встроен стандартный беспроводной интерфейс связи Bluetooth для связи с управляющим смартфоном, передачи информации и управления работой прибора.

Технические параметры ViPen-2:

Частотный диапазон работы, Гц	0,5 ÷ 10000
Поверенный диапазон работы, Гц	10 ÷ 1000
Диапазон измерения СКЗ виброскорости, мм/сек	1 ÷ 100
Диапазон виброускорения, пик, м/с <sup>2</sup>	1 ÷ 100
Диапазон измерения температуры, °С	-40 ÷ 150
Температура эксплуатации прибора, °С	-40 ÷ +50
Размеры виброметра ViPen-2, мм	23*54*122
Масса прибора без магнита, г	220

### 3. Программные средства управления эксплуатацией роторного оборудования

Центральным элементом комплексной системы мониторинга технического состояния, диагностики дефектов и управления эксплуатацией комплекса вращающегося оборудования является АРМ мониторинга с программным обеспечением ViBase.

Он включает в себя:

- Выделенный сервер хранения информации, решающий все вопросы по получению, обработке и хранению первичной информации.
- Диагностическое ядро программного обеспечения ViBase – набор экспертных и аналитических программ. С его помощью автоматически производится диагностика дефектов оборудования, создаются отчетные и технологические документы, на основании которых персонал формирует оптимальные управляющие воздействия на оборудование, определяет сроки и объемы необходимых ремонтных работ.
- Локальные сетевые и WEB программные решения для просмотра информации из базы данных АРМ о состоянии роторного оборудования специалистами различных служб предприятия.
- На сервере дополнительно предусмотрены расширенные локальные сетевые решения для работы специалистов службы вибрационного контроля.
- Вся первичная и экспертная информация из центральной базы данных ViBase доступна не только пользователям локальной сети предприятия, но и может быть интегрирована в другие технологические и организационные уровни АСУ-ТП предприятия.

Просмотр первичной, итоговой диагностической и управляющей информации в ViBase для разных специалистов предусматривается в разном объеме. При этом, в зависимости от решаемых специалистом технологических и функциональных задач, обеспечивается необходимый и достаточный уровень информационного доступа к базе данных.

Стандартно предусмотрены четыре информационные роли пользователей ViBase:

- Мобильный обходчик – сборщик текущих параметров состояния оборудования «на месте». Сначала обходчик при помощи смартфона считывает метку QR-кода на контролируемом агрегате, затем при помощи виброметра марки ViPen (ViPen-2) производит измерение текущих вибрационных параметров и температуры. При необходимости обходчик дополнительно вводит в смартфон наиболее важные технологические параметры оборудования, такие как давление, расход, скорость и т. д., Вся текущая информация об оборудовании оперативно пересылается по беспроводному GSM каналу на сервер системы мониторинга и управления эксплуатацией.
- Мобильный или оперативный диагност, который проводит оценку текущего технического состояния оборудования, диагностику дефектов «на месте» при помощи автоматизированной экспертной системы. Эта функция включает в себя два информационных уровня. Первый уровень мобильной диагностики дефектов реализуется на основе анализа текущих параметров оборудования,

зафиксированных мобильным обходчиком. Результатом работы первого уровня программы мобильного диагноста является, например, оценка состояния подшипников качения, выполненная во встроенном программном обеспечении виброметра ViPen, или техническое состояние проточной части насоса, определенное по результатам расчета КПД насосного агрегата при помощи специальной функции в программном обеспечении смартфона мобильного обходчика. Второй уровень мобильного диагноста для оценки технического состояния оборудования использует, наряду с оперативной информацией, дополнительные данные, хранящиеся на сервере системы мониторинга, которые по запросу могут быть переданы на смартфон мобильного диагноста по беспроводному каналу связи. Использование дополнительных данных дает возможность «на месте» выявить изменения, которые произошли в оборудовании за последнее время, определить скорость изменения параметров.

- Специалист по вибрационной диагностике – практический эксперт, работающий в сфере проведения «ручной диагностики» оборудования, планированию и проведению специализированных диагностических и наладочных работ при помощи многоканальных анализаторов вибрационных сигналов ViAna-2 и ViAna-4, также входящих в состав технического обеспечения системы мониторинга и управления эксплуатацией оборудования. Работа эксперта с системой ViBase может проводиться в двух режимах: на месте, рядом с оборудованием, и со специализированного компьютера службы диагностики предприятия. Для специалиста по вибрационной диагностике разрешен доступ к базе данных по беспроводным каналам связи от места расположения оборудования, или по ЛВС предприятия с компьютера АРМ диагностики.

- Прогнозный аналитик – специалист по предиктивной диагностике и контролю изменения технического состояния оборудования на будущих этапах эксплуатации, по планированию и организации ремонтных и сервисных работ. Чаще всего сферой его деятельности является непосредственное управление ремонтными и сервисными работами, для чего он работает с системой ViBase по ЛВС. Основа для такого управления формируется при обработке первичной информации и архивов информации адаптивными моделями цифровых двойников оборудования, в результате чего оценивается техническое состояние и качество эксплуатации каждой единицы оборудования. При помощи встроенных в программное обеспечение ViBase алгоритмов прогнозный аналитик составляет оптимальные графики выполнения ремонтных работ, оценивает качество их выполнения.

В соответствии с информационной ролью каждого пользователя системы управления эксплуатацией оборудования для него в базе данных ViBase задается вектор разрешенной информационной компетенции (уровень доступа к информации) каждого специалиста предприятия.

Этот вектор уровня информационного доступа описывается четырьмя проекциями:

- Компетенция по работе с первичной информацией: занесение, корректировка, удаление.
- Локализация уровня компетенции специалиста: предприятие, цех, установка, агрегат.
- Индивидуальный диагностический уровень специалиста.
- Уровень специалиста по управлению эксплуатацией и ремонтами оборудования.

При подключении к работе с программой ViBase каждого нового пользователя обязательно описываются все проекции вектора его будущей информационной компетенции. Описание производится или индивидуально и последовательно, или же сразу же сразу и комплексно, с использованием имеющихся шаблонов пользователей, уже работающих с программой ViBase.

#### **4. Перспективы развития систем управления эксплуатацией оборудования**

Фирма Вибро-Центр входит в состав группы отечественных компаний, занимающихся производством и внедрением систем мониторинга и управления эксплуатацией технологического оборудования. В состав этой группы также входит фирма ДИМРУС, которая разрабатывает и внедряет системы диагностического мониторинга высоковольтного оборудования: крупных электрических машин, высоковольтных выключателей, кабельных линий, силовых трансформаторов и т. д.

Все фирмы группы работают на единой платформе технических и программных средств мониторинга и управления эксплуатацией оборудования.

Возможным вариантом развитием системы управления эксплуатацией оборудования электрической станции может быть органичное слияние системы мониторинга роторного (ViBase) и высоковольтного оборудования (INVA) в единый технический и программный комплекс, реализованный на общем сервере, использующим интегрированное программное обеспечение INVA+. В результате может быть создана единая система управления эксплуатацией всего роторного и электротехнического оборудования электрической станции или промышленного предприятия.