

The background of the cover is a photograph of a large dam under construction in a deep, rocky gorge. The dam's concrete structure is visible, with a curved spillway at the top. The surrounding rock walls are rugged and brownish. The sky is clear and blue. In the foreground, there is a pile of construction debris and a body of water.

uptime  
magazine  
1.11

Гидрогенераторы • Магнитный поток • Модуль А06 • Свежие новости •  
• Тематическое исследование / Диагностика турбинного оборудования



## Требования к эффективному контролю гидроэлектростанций

- 3 Технические новости**  
Мониторинг магнитного потока гидроагрегатов (далее ГА)
- 7 Обновление продукции** —  
улучшенная аппаратура мониторинга гидрогенераторов
- 8 Свежие новости** —  
проекты мониторинга ГЭС на Юго-Западе Китая
- 9 Случай из практики** —  
раннее обнаружение трещины крыльчатки компрессора
- 14 Свежие новости** —  
проекты мониторинга ГЭС в Турции
- 15 Случай из практики** —  
система VC-1500 была выбрана для мониторинга состояния малых гидрогенераторных энергоблоков в Норвегии
- 20 Мероприятия 2011/2012 гг.**



**Brüel & Kjær Vibro**

Uptime Magazine — это информационный бюллетень, публикуемый компанией Brüel & Kjær Vibro для описания новостей в области направлений и технологий мониторинга состояния машинного оборудования. Темой данного выпуска является мониторинг состояния роторного оборудования гидроэлектростанций.

Если у Вас есть комментарии, предложения или информация по теме выпуска, пожалуйста, обращайтесь:  
Редактор Uptime Magazine,  
компания Brüel & Kjær Vibro,  
DK-2850 Нэрум, Дания.  
Тел.: +45 7741 2500  
Факс: +45 4580 2937  
E-mail: info@bkvibro.com  
Авторские права 2011, все права защищены  
Главный редактор: Shohan Seneviratne  
Старший редактор: Mike Hastings  
Design&Production: Gitte Blå Design  
Фото на обложке: Плотина Эрменек, контролируемая системой VC-6000 Compact Monitor.

**В** настоящее время суммарная установленная мощность гидроэлектростанций в мире равна 780 ГВт, что составляет около 20% генерируемой в мире электроэнергии, или 88% электроэнергии от всех возобновляемых источников электроэнергии. Несмотря на быстрое развитие альтернативных возобновляемых источников энергии, таких как ветряные, биологические и солнечные электростанции, гидроэнергетика за последние годы значительно усилила свои позиции и продолжает развиваться. Однако в настоящее время реализовано лишь 25% ее потенциальной производительности. Какое значение имеют вопросы эксплуатации и технического обслуживания оборудования гидроэлектростанций в этом мощном секторе энергетического рынка? Огромное — время безотказной работы оборудования сейчас важно, как никогда ранее!

Этот выпуск журнала Uptime посвящен системам мониторинга энергоблоков гидроэлектростанций. Компания Brüel & Kjær Vibro занимается системами мониторинга состояния турбин гидрогенераторов по всему миру более 15 лет. Обладая значительным опытом разработки систем контроля всех типов энергоблоков различных гидроэлектрических систем мощностью от 1 до 700 МВт, компания Brüel & Kjær Vibro разрабатывает и реализует стратегии контроля состояния от простых защитных систем до всесторонних систем контроля безопасности и состояния, использующих расширенные методы измерения параметров генераторов, валов и подшипников, турбин и вспомогательного оборудования. Об этом можно более подробно прочитать в тематических и технических статьях данного выпуска Uptime.

В этом выпуске мы также представляем новый **модуль мониторинга гидрогенераторов типа SM-610-A06** для системы сбора данных **VC-6000**. Создание модуля SM-A06 упрощает мониторинг вибрации блоков средней размерности в системах контроля безопасности и состояния, использующих **Compass 6000**. В большинстве случаев одного модуля достаточно для мониторинга состояния всего гидроэлектрического энергоблока!

Посетите наш веб-сайт для получения более подробной информации о наших технологиях, системах и продукции для мониторинга ГЭС. Помимо темы гидроэнергетики в данном выпуске Uptime также рассматриваются вопросы **диагностики турбинного оборудования**. Услуги по диагностике всегда играли важную роль в перечне решений, которые мы предлагаем нашим заказчикам, поэтому мы предлагаем статью на эту тему. Это иллюстрирует, как мы можем превратить результаты измерений в полезную информацию, которая обеспечивает длительную безотказную работу, позволяя Вам заранее прогнозировать мероприятия по техническому обслуживанию оборудования и составлять план их проведения. Я рад начать этот специальный выпуск Uptime, и надеюсь, что он Вам понравится!

**Альфред Шибль**  
(Alfred Schübl)  
Менеджер  
по работе  
с корпоративными  
клиентами в сфере  
гидроэнергетики





## Контроль магнитного потока гидроагрегатов

Специальные методы мониторинга, необходимые для контроля уникальных систем гидрогенераторов.

Для получения максимальной энергии при определенном напоре воды гидрогенераторы энергоблоков ГЭС должны вращаться с относительно малой скоростью: 50–300 об/мин.

Это делает гидрогенераторы уникальными электрическими машинами, поскольку турбогенераторы, используемые в других системах, вращаются

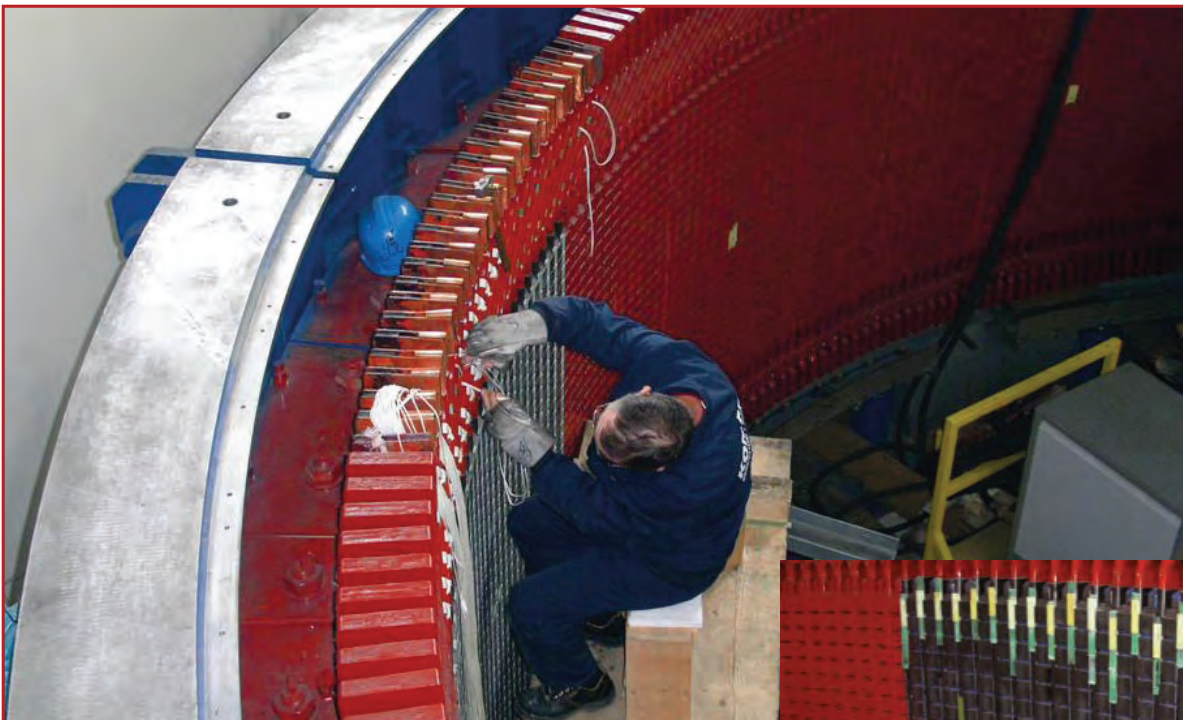
со скоростью 3000/3600 об/мин. Медленное вращение гидрогенераторов заставляет применять многополюсные роторы для генерирования электроэнергии с требуемой частотой сети. По этой причине для размещения большого количества полюсов требуется огромный ротор, иногда превышающий 12 м в диаметре. Такой большой генератор с относительно малым воздушным зазором подвержен влиянию малейших деформаций, которые могут создавать огромные силы дисбаланса. Появляющаяся в результате вибрация может вызывать преждевременный отказ подшипников и других компонентов.

Большая масса генератора также повышает вероятность возникновения локальных точек перегрева, расшатывания и других проблем. Существует несколько специальных методик измерения для обнаружения и диагностики этих проблем, но в данной статье рассматривается только одна такая методика — измерение магнитного потока.

### Цель контроля магнитного потока

Технология контроля магнитного потока применяется главным образом для обнаружения межвитковых замыканий ротора и образующихся замыканий обмоток явнополюсного ротора на массу. Короткие замыкания главным образом возникают, если изоляция обмоток повреждается или ухудшается со временем. Межвитковое замыкание ротора не обязательно требует немедленного отключения машины для технического обслуживания, но снижает производительность. Оно может вызывать локальный перегрев и увеличение тока возбуждения. Оно также может создавать дисбаланс, который вызывает увеличение вибрации и перегрев.

Существует несколько факторов, влияющих на плотность магнитного потока, а именно: воздушный зазор между статором и полюсами, температура обмоток, ток и напряжение обмотки возбуждения. Поэтому для



более точного контроля аварийных пороговых величин и упрощения анализа тенденций магнитный моток необходимо увязывать с этими параметрами. Наиболее важным фактором корреляции при измерении магнитного потока, однако, является измеряемый воздушный зазор. Это помогает определить причину дисбаланса генератора — физические причины (изменение воздушного зазора) или электрические причины (межвитковое замыкание полюсной обмотки).

Флуктуации результатов измерений магнитного потока могут быть небольшими, поэтому требуется проведение точных измерений для каждого полюса. Например, у 72-полюсного генератора, имеющего 20 витков на полюс, один короткозамкнутый виток снижает измеряемый магнитный поток всего на 5%.

#### Датчик

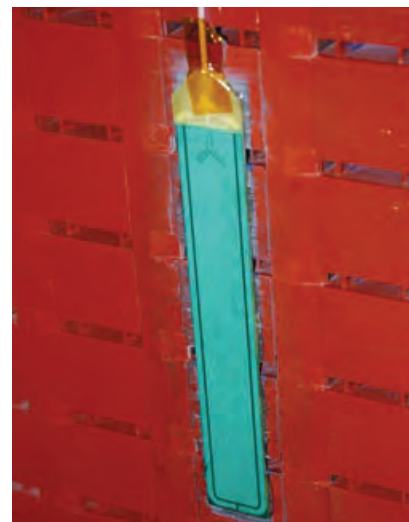
Система измерения магнитного потока (например, Brüel & Kjær Vibro EQ 2430) содержит длинный тонкий датчик, прочно приклеенный к внутренней стенке статора. Он подключается к блоку формирования сигнала/источнику питания, расположенному на расстоянии нескольких

*Рис. 1. Подготовка статора гидрогенератора (перед установкой датчика магнитного потока)*

метров, сигнальными кабелями, проходящими через вентиляционные каналы статора или между концами обмоток. Этот датчик измеряет магнитный поток каждого проходящего полюсного наконечника ротора. Сигнал блока формирования сопоставляется с тахосигналом фазы/скорости для выявления сигналов каждого отдельного полюса. Эти сигналы

обрабатываются, сравниваются с аварийными пороговыми величинами в системе контроля **Compass**, а затем сохраняются в базе данных.

Датчик магнитного потока похож на датчик воздушного зазора (например, Brüel & Kjær Vibro EQ 2431) и, фактически, оба этих датчика устанавливаются одинаковым образом,



*Рис. 2. Датчик магнитного потока показан слева, датчик воздушного зазора показан справа*

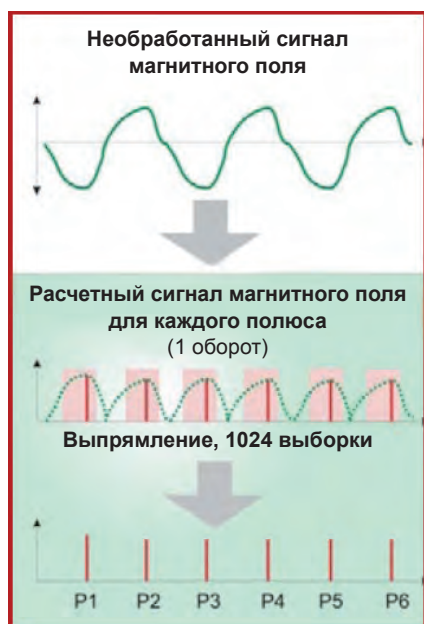
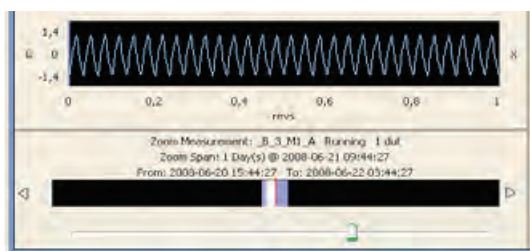


Рис. 3. График системы Compass 6000 показывает необработанный сигнал, сохраненный в базе данных для диагностических целей

Рис. 4. Максимальные пиковые величины выделяются для каждого полюса (отдельные значения) и используются для мониторинга состояния, анализа тенденций и тревожной сигнализации

но на этом сходство заканчивается. Датчик воздушного зазора работает по емкостному принципу, измеряя расстояние между стенкой статора и проходящими полюсными наконечниками ротора. Емкостный ток, измеряемый между пластиной датчика и проходящим полюсным наконечником, пропорционален диэлектрической проницаемости между этими поверхностями, которая в свою очередь пропорциональна физическому расстоянию (т.е. воздушному зазору). Датчик магнитного потока измеряет магнитное поле между статором и проходящим полюсным наконечником ротора, и действует по совершенно другому принципу, используя эффект Холла (см. вкладку с описанием теории эффекта Холла).

#### Контроль данных и диагностика

Сигнал магнитного потока используется автоматической системой контроля для обнаружения возможных межвитковых замыканий. Он также

### Эффект Холла — принцип действия датчика магнитного потока

Датчик магнитного потока измеряет плотность магнитного потока, используя эффект Холла. Этот эффект был открыт доктором Эдвином Холлом в 1879 г., но с развитием полупроводниковой электроники используется лишь последние 30 лет. Представьте себе тонкий прямоугольный проводник или полупроводник, через который проходит ток. В отсутствие магнитного поля по ширине этого проводника перпендикулярно направлению движения тока не будет разности потенциалов, как показано на рис. 5. Эффект Холла возникает, если через прямоугольный проводник перпендикулярно проходит магнитное поле. Это приводит к возникновению разности потенциалов по ширине проводника, которая пропорциональна току и плотности потока магнитного поля, перпендикулярного проводнику, как показано на рис. 6.

Элемент на основе эффекта Холла, похожий на тот, что показан на этих рисунках, встроен в датчик магнитного потока. Предполагая, что ток датчика постоянен, выходное напряжение датчика, т.е. напряжение эффекта Холла  $V_H$ , будет прямо пропорционально напряженности магнитного поля каждого проходящего полюса ротора.

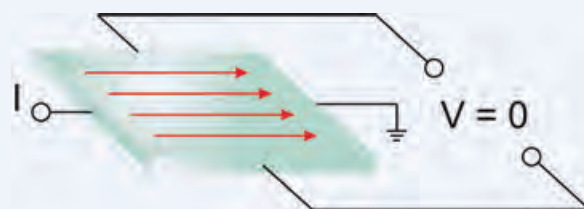


Рис. 5. Магнитное поле отсутствует

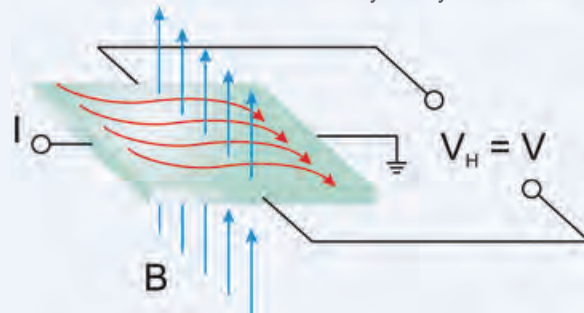


Рис. 6. Эффект Холла, магнитное поле присутствует

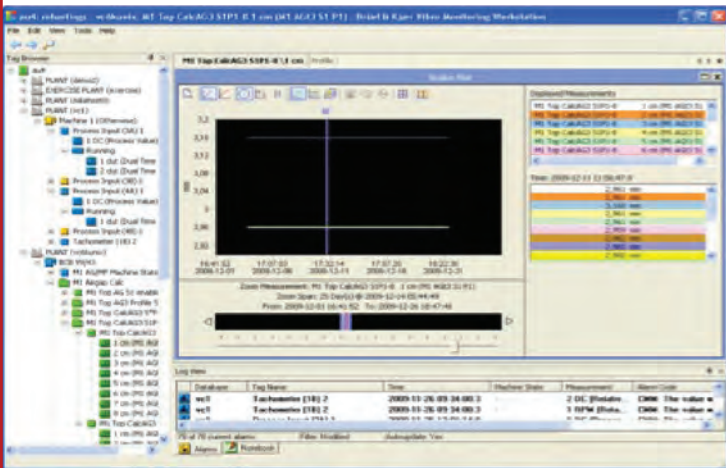


Рис. 7. Совмещенный график системы Compass 6000 показывает пиковые величины каждого полюса, и их изменение во времени. Эти величины сравниваются с аварийными пороговыми величинами.

используется диагностической системой для построения графиков, позволяющих, например, отличать деформацию ротора/статора от межвитковых замыканий.

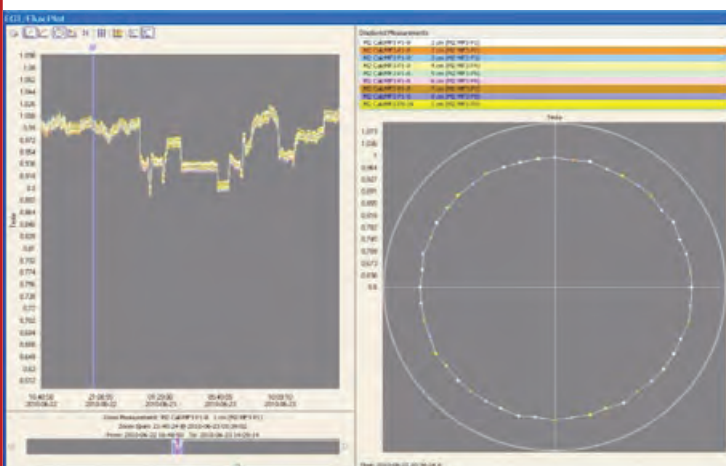


Рис. 8. График системы Compass 6000 показывает пиковые величины каждого полюса за один оборот ротора на круговой диаграмме

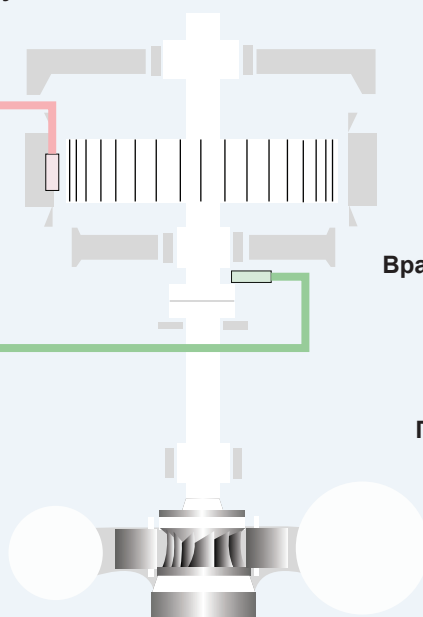
Необработанный сигнал, снимаемый за один оборот ротора, отображает магнитный поток каждого полюса, как показано на рис. 3. Этот сигнал содержит ценную диагностическую информацию, но не подходит для сравнения с аварийными пороговыми величинами. Для этой цели сигнал подвергается обработке, как показано на рис. 4. Для каждого полюса выделяется одно пиковое значение сигнала, которое сравнивается с аварийными пороговыми величинами и затем используется для проведения долгосрочного анализа тенденций, как показано на рис. 7. Эти величины, соответствующие

### Измерение магнитного потока

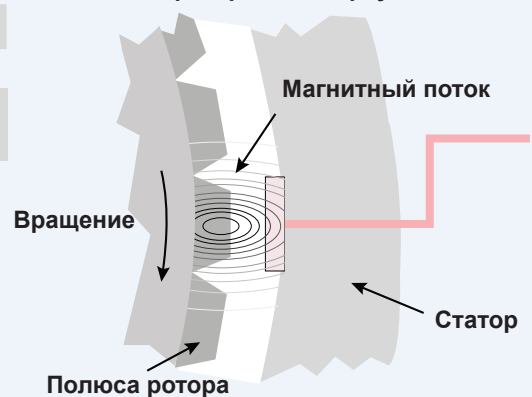
Требуется только 1 датчик

**Скорость/  
опорный сигнал**  
Измерения  
профиля

**Датчики на основе  
эффекта Холла**  
Тахосигнал



Генератор, вид сверху



### Обнаружение дефектов

- Межвитковые замыкания. Они могут создавать локальные точки перегрева, усиливать ток возбуждения и создавать дисбаланс. Дисбаланс может привести к усилению вибрации и перегреву.
- Часто требует корреляции с величинами воздушного зазора, тока и напряжения возбуждения.

Рис. 9. Обзор принципа контроля магнитного потока

## Специальная аппаратура контроля гидрогенераторов

определенным полюсам, могут быть сопоставлены с величинами других полюсов или параметрами процесса, такими как температура обмотки, ток и напряжение возбуждения, и измеренный воздушный зазор. Эти же пиковые величины также отображаются на круговой диаграмме одного оборота ротора для заданного класса процесса, либо с наложением данных предыдущих оборотов, как показано на рис. 8.

Система Compass позволяет разделять по классам результаты измерений магнитного потока, основываясь на определенных режимах работы генератора, например, вышеупомянутых рабочих параметрах, либо нагрузке или рабочих режимах, таких как режим насоса, генерации, компенсации, замещения и т.д. Это позволяет выполнять более точный анализ тенденций, надежнее обнаруживать неполадки на ранних стадиях и упрощает сравнение графиков в целях диагностики.

### Заключение

Мониторинг магнитного потока позволяет точно выявлять межвитковые замыкания полюсов ротора, которые снижают производительность генератора. Измерение магнитного потока используется компанией Brüel & Kjær Vibro для дополнения своей интегрированной стратегии мониторинга ГА. Вследствие своей высокой чувствительности к рабочим параметрам оно не подходит для применения в качестве самостоятельной методики и требует корреляции с рабочими параметрами, а также результатами измерений воздушного зазора.

В систему сбора данных **VIBROCONTROL 6000™** (VC-6000) компании Brüel & Kjær Vibro (используется в качестве блока контроля безопасности, монтируемого в стойку, или совместно с системой Compass 6000 для интегрированного контроля состояния) входит специальный модуль контроля состояния ГА типа **SM-610-A06**. Этот модуль, специально спроектированный в соответствии с требованиями контроля гидротурбинного оборудования, позволяет осуществлять мониторинг вибрации всей гидроэлектрической установки, используя лишь один модуль! Этот модуль спроектирован для применения в качестве гибкой, конфигурируемой пользователем платформы для всех типов гидроэлектрических систем, позволяя проводить широкий спектр

необходимых измерений. Уникальная функция контроля состояния оборудования позволяет осуществлять контроль безопасности и состояния, используя соответствующие аварийные пороговые величины предупреждения и опасности. Это обеспечивает точное и надежное обнаружение неполадок на ранних стадиях развития дефекта.



### Функции:

- **Входы** – до 11 входов датчиков вибрации, до 2 входов датчиков осевого положения, 3 двоичных входа и до 2 входов датчиков частоты вращения (для определения режима генератора), а также 1 опорный входной сигнал (для других модулей).
- **Выходы** – до 8 выходов постоянного тока и 2 выхода реле (с определяемой пользователем логикой срабатывания).

- **Режимы оборудования** – 6 определяемых пользователем режимов машинного оборудования (до 8 для систем контроля безопасности).
- **Возможность «горячей» замены модуля.**

Более подробную информацию можно получить у регионального торгового представителя компании Brüel & Kjær Vibro.

НОВОСТИ  
О ПРОДУКЦИИ



Рис. 1. Вид гидроэлектростанции Сяован мощностью 6 x 700 МВт

## Проекты мониторинга ГЭС в Юго-Западном Китае

Компания Brüel & Kjær Vibro выиграла тендер на установку систем мониторинга на трех крупных ГЭС в провинции Юньнань — гидроэлектростанции Рюилидзян на реке Рюили, а также гидроэлектростанции Сяован и Джинхонг на реке Ланканг (Меконг). Последние две станции являются частью огромной восьмикаскадной системы гидроэлектростанций на реке Ланканг, которая будет способна генерировать мощность 16 ГВт.

### Краткое описание гидроэлектростанций

■ **Гидроэлектростанция Сяован** (小湾水电站) — обладая шестью установленными ГА мощностью 700 МВт каждый, ГЭС Сяован является самой мощной в мире одиночной станцией для водоема такого типа. Плотина Сяован также является высочайшей в мире арочной плотиной (300 м) и второй крупнейшей ГЭС в Китае после плотины «Три ущелья». ГЭС Сяован также имеет особый статус в том смысле, что запуск последнего ее энергоблока в 2010 г. сделал гидроэнергетику Китая крупнейшей в мире.

■ **Гидроэлектростанция Джинхонг** (景洪水电站) — четвертая гидроэлектростанция вниз по течению от ГЭС Сяован в огромной каскадной системе реки Ланканг. ГЭС Джинхонг способна генерировать мощность 1750 МВт при высоте плотины 108 м. Ее строительство началось в 2003 г. и было завершено в 2008 г. Часть генерируемой мощности будет поступать в Таиланд по соглашению с Китаем.

■ **Гидроэлектростанция Рюилидзян** (瑞丽江水电站) — расположена на реке Рюили в префектуре Дехонг вблизи границы с Мьянмой. Она имеет генерируемую мощность 600 МВт.

Гидроэлектростанция	Блоки	МВт/блок
Рюилидзян	6	100
Джинхонг	5	350
Сяован	6	700

### Обширное развитие гидроэнергетики

Упомянутые проекты в области гидроэнергетики — это лишь немногие из общего числа проектов, являющихся частью планов Китая по увеличению генерируемой мощности своих гидроэлектростанций от 200 ГВт в настоящее время до 300 ГВт к 2015 г. Они являются реакцией на совместные усилия, направленные на снижение выбросов двуоксида углерода. Китай долгое время полагался на уголь для поддержки своего экономического роста. Около 83 процентов его электроэнергии производят угольные электростанции, но эта ситуация быстро меняется. Китай планирует снизить выбросы двуоксида углерода на единицу валового внутреннего продукта (ВВП) на 40-45% к 2020 г. Китай также взял на себя обязательство увеличить к 2020 году мощность, генерируемую без использования ископаемого топлива, от текущего значения 7,8 процентов до 15 процентов. Компания Brüel & Kjær Vibro испытывает гордость за возможность участия в столь амбициозном проекте расширения использования возобновляемых источников энергии.

### Стратегия мониторинга

Контроль безопасности всех 17 гидроагрегатов осуществляет система сбора данных Brüel & Kjær Vibro VC-6000 (кроме ГЭС Рюилидзян, на которой используется система VC-4000). В проекте Сяован используется новый модуль контроля ГА типа SM-610-A06.



## Раннее обнаружение трещин крыльчатки компрессора

В отличие от генерирующих агрегатов гидроэлектростанций, турбинное оборудование большинства электростанций работает на гораздо более высоких частотах вращения и обладает собственным индивидуальным набором режимов потенциальных отказов. К счастью, большинство признаков отказов можно достаточно легко обнаружить, используя специальную систему контроля состояния, такую как Compass 6000. Однако существуют некоторые неполадки турбинного оборудования, которые требуют проведения диагностической экспертизы, как для обнаружения, так и для диагностики. В этой статье описывается именно такой случай и демонстрируется тот факт, что специальные диагностические инструменты, такие как система ADVISOR, могут оказать значительную помощь специалистам по мониторингу состояния оборудования. Но, разумеется, эти инструменты не могут заменить знаний экспертов. Компания Brüel & Kjær Vibro предлагает услуги по проведению диагностической экспертизы компаниям, не имеющим таких специалистов или имеющим перегруженные диагностические группы.

Эта статья написана на основе исследования, опубликованного Эриком ван Дюрсеном из компании Hoek Loos/Linde Gas Benelux (Голландия), Гертом Хоуфэккером из компании Brüel & Kjær Vibro (Голландия), а также Питером Сёрлэндом и Майком Хастингсом из компании Brüel & Kjær Vibro (Дания). Статья была представлена на международной конференции по компрессорам и их системам

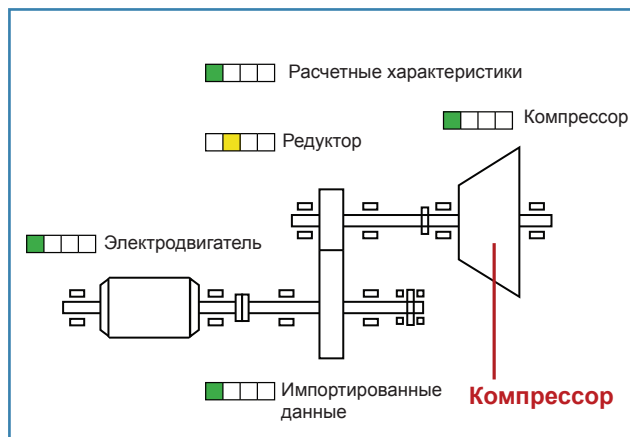
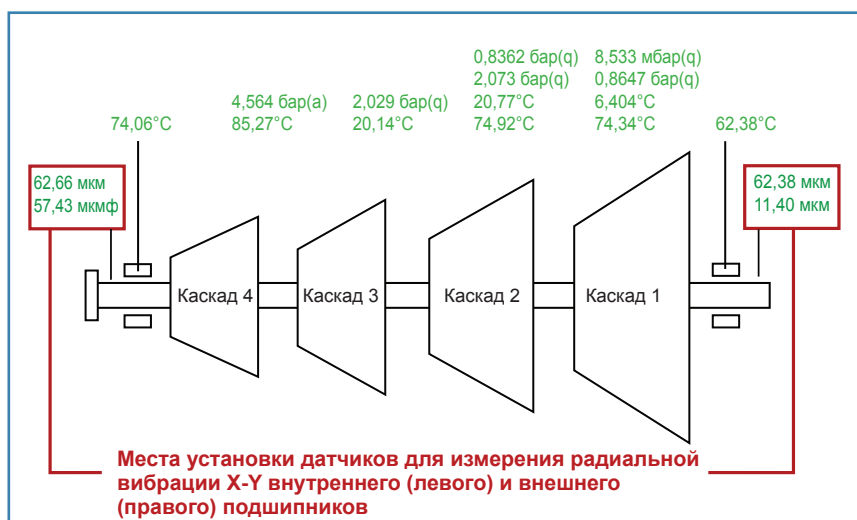


Рис. 1. Каскадная система компрессора (сверху), внутренняя и внешняя точки измерения вибрации (снизу)



Места установки датчиков для измерения радиальной вибрации X-Y внутреннего (левого) и внешнего (правого) подшипников

Общества инженеров-механиков (ImechE) в Лондоне (Соединенное Королевство) 10–12 сентября 2007 г.

### Конспект

Пороговые величины вибрации ротора фаз были превышены у центробежного компрессора мощностью 25 МВт при проведении мониторинга предельных значений фаз. Хотя уровень вибрации все еще был на 60% ниже аварийных пороговых величин системы безопасности, инженер по оборудованию принял решение отключить машину для проверки. На крыльчатке была обнаружена 25-сантиметровая трещина. Если бы за этой машиной не следила система мониторинга состояния Compass, возможно, система безопасности не смогла бы обнаружить трещину до

наступления аварии. Это могло привести к разрушению, как ротора, так и корпуса. Последующее исследование выявило, что трещину вала можно было обнаружить еще раньше, если бы использовалась программа автоматической диагностики машинного оборудования ADVISOR, действующая на платформе Compass.

### Введение

4-каскадный центробежный компрессор мощностью 25 МВт использовался в процедуре воздушной сепарации. Этот компрессор, прослуживший 5 лет, являлся критически важной машиной для всего производственного цикла и не имел запасных частей. Эта машина подвергалась мониторингу с момента ввода в эксплуатацию.

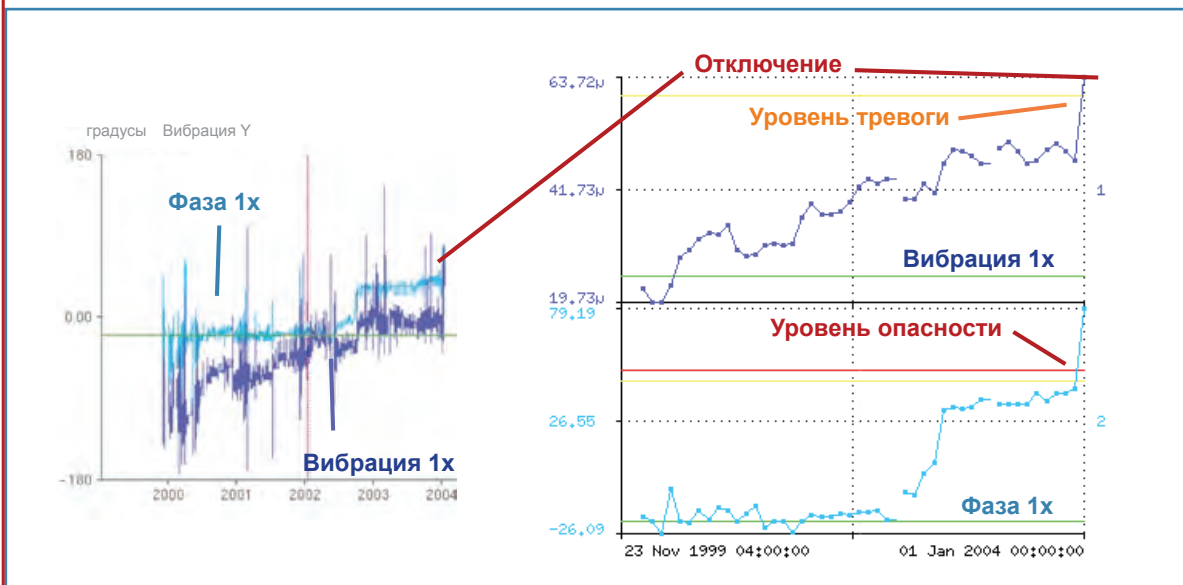


Рис. 2. Радиальная вибрация вектора внутреннего подшипника: пороговый уровень тревоги превышен амплитудой вибрации вектора 1x на рабочей частоте вращения. Пороговый уровень опасности превышен фазой вектора 1x

### Стратегия мониторинга

Комбинированная система мониторинга состояния и диагностики Compass с системой контроля безопасности использовалась на воздуходелительной установке для мониторинга трех машин. Часть этой системы, отвечающая за мониторинг состояния, использовалась в стратегии диагностического технического обслуживания для поиска неисправностей на ранних стадиях. Параметры вибрации и рабочего процесса (многие из которых импортировались из распределенной системы управления) автоматически контролировались с периодическими интервалами. Для анализа неполадок компания Brüel & Kjær Vibro по запросу также оказывает услуги по диагностике — как дистанционно, так и на месте эксплуатации.

Оборудование системы Compass для данного компрессора включает в себя датчики смещения X-Y внутреннего и внешнего подшипников, как показано на рис. 1.

По сигналам каждого датчика проводятся следующие измерения:

- постоянная составляющая;
- полоса частот (10–1000 Гц, среднеквадратические значения, пик-пик);
- векторные измерения 1x, 2x (среднеквадратические значения пик-пик амплитуды и фазы), амплитуда ½x (среднеквадратические значения пик-пик);
- постоянная относительная полоса частот 6% (от 10,3 до 1030 Гц, среднеквадратические значения

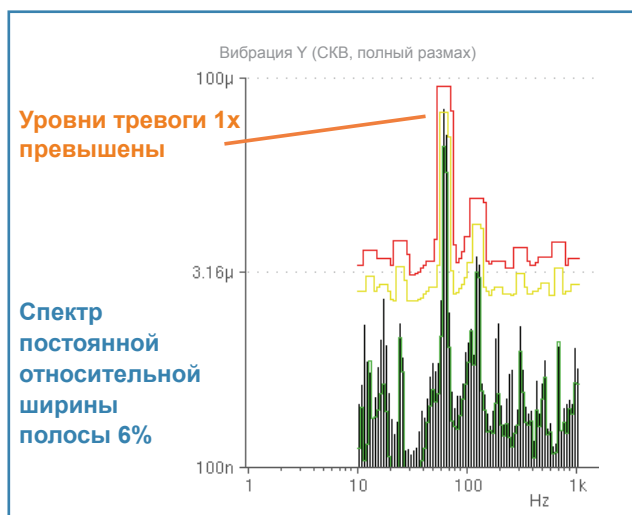


Рис. 3. Спектр радиальной вибрации внутреннего подшипника: пороговые величины тревоги превышены в спектре постоянной относительной ширины полосы 6% (CPW6%) на рабочей частоте вращения

пик-пик), постоянная относительная полоса частот 23% (от 2 до 1000 Гц, среднеквадратические значения).

### Обнаружение неполадок

- В январе 2004 г. внезапно сработали несколько сигналов тревоги системы мониторинга состояния, главным образом относящиеся к внутренним датчикам смещения X-Y ротора компрессора:
- сигнал в постоянной относительной полосе частот 6% превысил установленную пороговую величину 54,38 мкм на рабочей частоте (61,30 Гц).
- уровень радиальной вибрации вектора 1x превысил пороговую величину тревоги 60 мкм (норма 25 мкм);
- фаза 1x превысила пороговую величину «Опасность», равную 90°.

Уровни тревоги были установлены значительно ниже общего уровня

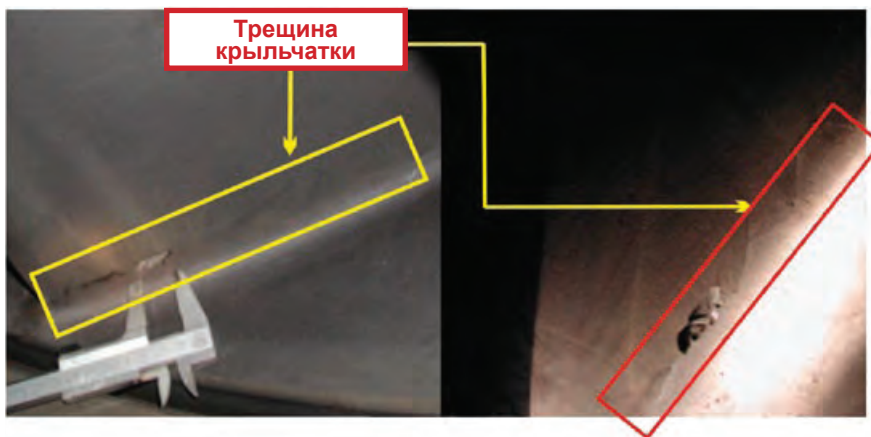
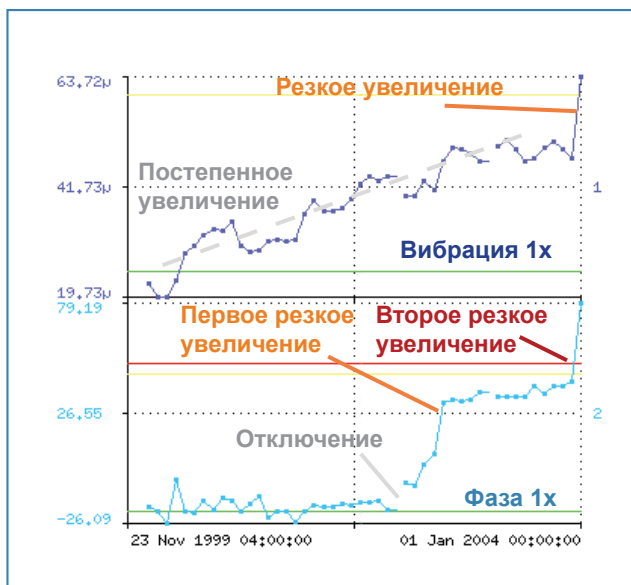
срабатывания системы мониторинга безопасности 130 мкм (система не контролировала фазу), но они привлекли внимание инженера по оборудованию. Отчасти это было вызвано смещением фазы 1x на 65° от номинальной величины за период более одного года (уровень тревоги 85°) при том, что уровень вибрации 1x постепенно увеличивался примерно от 30 до 50 мкм в течение 3 лет (см. рис. 2).

Инженер первоначально полагал, что проблема заключается в механическом дисбалансе, вызванном загрязнением, поэтому была назначена инспекция камеры.

### Проверка и ремонт машины

Первым, что было обнаружено во время осмотра, было растрескивание охлаждающей водяной трубки, причем части этой трубки отсутствовали. Когда компрессор был вскрыт, в нем не было обнаружено предполагаемых

Рис. 4. Амплитуда вибрации 1х постепенно увеличивалась с 2001 по 2004 г., после чего в январе 2004 г. произошло резкое увеличение. Фаза вектора 1х вначале резко увеличилась после отключения в июне 2002 г., а затем еще раз в январе 2004 г.



загрязнений, но в основании одной из лопастей крыльчатки первого каскада была обнаружена большая трещина. Поврежденную крыльчатку можно было отремонтировать, но быстрее было установить новую, что привело к 12-недельному простоя. Если бы эту машину не

контролировала система Compass, возможно, защитная система не позволила бы отключить машину вовремя для предотвращения катастрофических последствий. Такая авария могла вывести из строя, как ротор, так и корпус, что привело бы к 12-месячному простоя в работе.

### Последующий анализ и диагностика неисправности

Если взглянуть на данные на рис. 2, изменение вибрации и фазы 1X является признаком трещины вала и ротора<sup>1</sup>. Интересен тот факт, что при появлении трещины вибрация была сильнее в районе внутреннего подшипника (каскад 4), чем внешнего подшипника (каскад 1) — см. рис. 1 и 2. Производитель компрессора подтвердил, что это характерно для данного типа машин. Эффекты баланса масс между первым и четвертым каскадами могут влиять на место проявления вибрации 1X первого каскада.

Система Compass предотвратила катастрофические последствия разрушения машины, но для рентабельного проведения планового ремонта было недостаточно времени. Более того, первоначальный диагноз был неверен, поскольку был основан на предположении о дисбалансе вследствие загрязнения, что сильно отличается от трещины ротора. Компрессор потребовал быстрого отключения, что привело к незапланированному простоя в работе. Можно ли было автоматически обнаружить эту неисправность? Можно ли было сделать это раньше? Возможно ли было автоматически точно диагностировать трещину крыльчатки?

<sup>1</sup> Существует много литературы по теме обнаружения трещин ротора с помощью вибрационного анализа. Также существует несколько различных используемых методов вибрационного анализа. Справочная литература [1–6] содержит обзор некоторых из этих методов, а [7] содержит описание методики обнаружения трещин с помощью измерения амплитуды и фазы 1X для обнаружения трещин в лопастях и роторах газовых турбин.

Смотря на рис. 5 становится ясно, что очевидные симптомы начала изменения фаз появились уже в сентябре 2002 г. В июне того же года было проведено плановое отключение, но в тот раз компрессор не вскрывался для проверки. Поэтому сомнительно, что это отключение могло стать причиной усугубления данной проблемы. Признаки можно обнаружить даже с сентября 2001 г., когда начали постепенно увеличиваться уровни вибрации. Но маловероятно, что эти симптомы могли быть замечены, поскольку они были значительно ниже аварийных пороговых уровней. Фазовое смещение увеличилось в октябре 2002 г., но быстро выровнялось и оставалось стабильным еще полтора года. Поэтому ни у кого не могли возникнуть реальные опасения. Постепенно увеличивающийся уровень вибрации был ниже аварийных пороговых величин до последнего момента. Когда амплитуда и фаза внезапно возросли, машину пришлось отключить в ручную.

Проблема заключается в том, что никто не заметил эти ранние признаки образующегося дефекта.

Компания Brüel & Kjær Vibro предлагает программу автоматической диагностики машинного оборудования ADVISOR, которую можно установить в качестве дополнения к системе Compass. Программа ADVISOR не была установлена во время обнаружения трещины крыльчатки, поэтому заказчик обратился в компанию Brüel & Kjær Vibro с просьбой просканировать сохраненную базу данных параметров компрессора диагностической программой ADVISOR. Инженер по оборудованию хотел знать, можно ли было раньше обнаружить образующуюся трещину крыльчатки, используя эту методику автоматической диагностики.

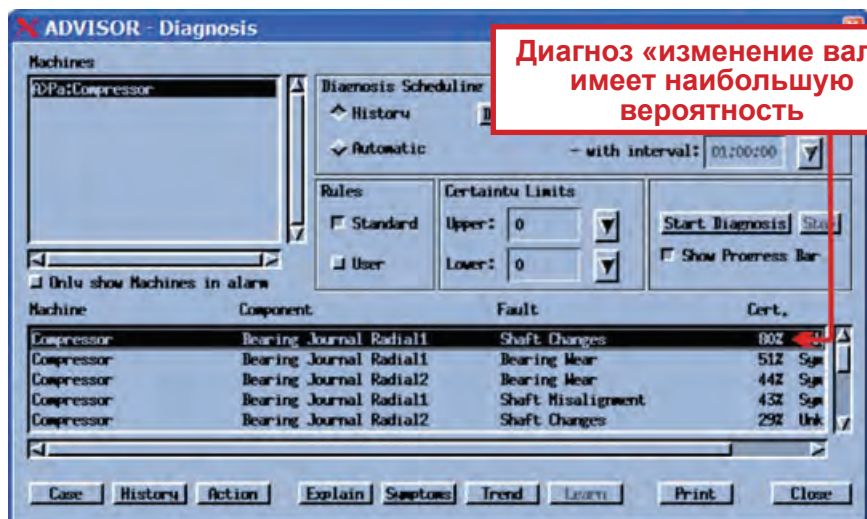


Рис. 5. Программа ADVISOR перечисляет все вероятные и маловероятные диагнозы для заданного сканирования базы данных. Диагнозом с наивысшей вероятностью после 21 ноября 2002 г. является «изменение вала» (т.е. динамическое изменение ротора, такое как изменение жесткости, которое происходит при образовании трещины ротора). Другие возможные неполадки машины перечислены ниже этого диагноза.

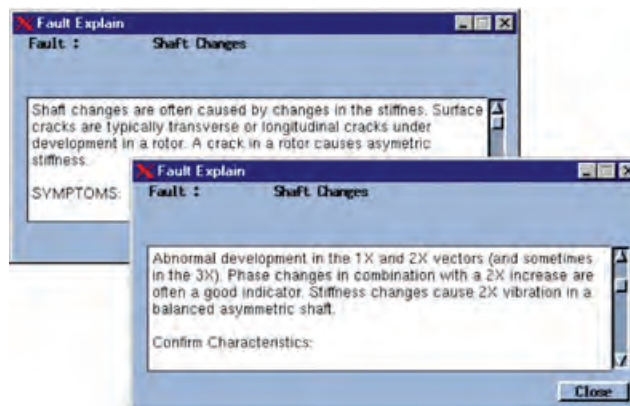


Рис. 6. Описание системы ADVISOR содержит правила и симптомы, используемые для диагностики

### Система автоматической диагностики машинного оборудования

ADVISOR — программа автоматической диагностики машинного оборудования на основе нейронных сетей, действующая на базе системы Compass, которая классифицирует сохраненные результаты измерений, следя за графиками уровней на частотах собственных колебаний машины (используя корреляцию с режимами потенциального отказа данной машины) в спектре вибрации. Как только машина проявляет «нестандартное» поведение, оно автоматически идентифицируется и преобразуется в описание неполадки. Это значит, что для автоматической диагностики неполадок требуются только определенные

начальные данные, когда машина находится в заведомо исправном состоянии. Для диагностики неполадок не обязательно задавать аварийные пороговые величины.

Программа ADVISOR регулярно оценивает всю базу данных (например, каждый час) или запускается по определенному событию. Результаты оценки содержат:

- Перечень расчетных вероятностей диагностики потенциальных отказов.
- Описание диагностики потенциальных отказов (правила, симптомы).
- Графики, показывающие тенденцию вероятности диагноза во времени.



Рис. 7. Этот график показывает расчетную вероятность диагноза трещины вала, составленного программой ADVISOR. Уже 21 ноября 2002 г. вероятность этого диагноза достигала 80% (наивысший уровень вероятности этой системы). Даже при том, что уровни вероятности диагноза образования трещины ротора были относительно низкими до этой даты, диагностический график вероятности (достоверности) постепенно увеличивался все это время.

### Заключение

Системы безопасности не всегда эффективно защищают машинное оборудование от таких неполадок, как трещины лопастей ротора. Трудно обнаружить незначительные изменения энергии, вызванные медленно образующейся трещиной, используя измерения общего уровня вибрации. Когда трещина достигнет критических размеров, ротор может разрушиться до того, как повышенная вибрация будет обнаружена системой безопасности.

Существует более высокая вероятность обнаружения трещин ротора на относительно ранних стадиях образования при использовании нескольких методов анализа вибрации на переходных или стационарных режимах. Измерения векторов 1x и/или 2x являются одним из возможных способов. Однако эти изменения могут быть незначительными и не превышать заданных аварийных пороговых величин, что требует проведения долговременного анализа тенденций. Работа по просмотру всех данных даже до того, как они превысят аварийные пороговые величины, может быть изнурительной для специалиста по диагностике. Функция предупреждения с автоматическим анализом тенденций для каждого измеряемого параметра была бы более полезна, но потребовала бы индивидуальной настройки для каждого параметра.

Автоматическая экспертная система, такая как ADVISOR, обеспечивает оптимальное решение, поскольку при выполнении диагностики она анализирует несколько симптомов одновременно, а не только один. Как описано в предшествующей статье, программа ADVISOR может использоваться в любое время для поиска симптомов неполадок по всей базе данных системы мониторинга. Поскольку симптомы, отвечающие критериям, установленным в диагностических правилах, начинают усиливаться со временем, вероятность диагноза также повышается. Расчетная вероятность диагноза затем может быть использована для построения графика и анализа тенденций для получения раннего предупреждения о неполадках. Диагностические отчеты, созданные программой ADVISOR, также могут автоматически отправляться в виде файлов в систему управления техническим обслуживанием или оператору.

Применение такой системы может значительно снизить объем работ системного оператора, обеспечивая при этом предупреждение о возникающих неполадках на более ранних стадиях. Эта программа также может использоваться для тонкой настройки правил диагностики и симптомов, а также для «подтверждения» результатов диагностики, проведенной другими операторами.

### Справочная литература

1. Sabnavis, G., Kirk, R.G., Kasarda, M., Quinn, D., "Cracked Shaft Detection and Diagnostics: A Literature Review", *The Shock and Vibration Digest*, Vol. 36, No. 4, pp. 287-296, 2004
2. Green, I., Casey, C. "Crack Detection in a Rotor Dynamic System by Vibration Monitoring – Part I: Analysis", *Paper GT2003-38659 presented at ASME Turbo Expo 2003, June 16–19, 2003, Atlanta, Georgia, USA*
3. Imam, I. et al, "Development of an On-line Rotor Crack Detection and Monitoring System", *Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability in Design*, Vol. 111, 1989
4. Grabowski B, *The Vibrational Behaviour of a Turbine Rotor Containing a Transverse Crack*, *Journal of Mechanical Design*, *Trans. ASME*, Vol 102, 1980
5. Wauer J, "On the Dynamics of Cracked Rotors": *A literature Survey*, *ASME Book No AMR067, Applied Mechanics Reviews*, Vol 43, No 1, 1990
6. Sekhar et al, *Crack Detection and Vibration Characteristics of Cracked Shafts*, *Journal of Sound and Vibration*, Vol 157, 1992
7. Sonnichsen, H.E., "Real-time Detection of Developing Cracks in Jet Engine Rotors", *Aerospace Conference proceedings, 2000 IEEE*, Vol. 6, pp. 173-183, 2000

## Проекты мониторинга ГЭС в Турции

Компания Brüel & Kjær Vibro недавно выиграла тендер на установку систем мониторинга на пяти гидроэлектростанциях в Турции. В их число входят ГЭС Бирезик и Эрменек в бассейне реки Евфрат, являющиеся частью стратегически важного проекта Юго-восточной Анатолии (Güneydoğu Anadolu Projesi, GAP) по развитию этой сельской части страны.

### Краткое описание гидроэлектростанций

- **Бирезик** — одна из 19 плотин ГЭС проекта Юго-восточной Анатолии Турции, расположенная на реке Евфрат вблизи города Бирезик в 80 км западнее провинции Санлиурфа в юго-восточном регионе Турции. Плотина Бирезик является бетонным гравитационным строением с глиняным и песчано-гравийным наполнителем, имеющая высоту 62,5 м от фундамента. Эта электростанция содержит 6 вертикальных радиально-осевых гидроагрегатов мощностью по 112 МВт каждая. При скорости потока 317 м<sup>3</sup>/с и высоте напора 42 м эти энергоблоки генерируют среднюю мощность 2,5 миллиарда киловатт-часов в год.
- **Боябат** — эта ГЭС расположена в провинции Синоп в Черноморском регионе страны, в 15 км к юго-западу от Дюрагана на реке Кызылырмак. Она имеет бетонную плотину высотой 195 м и оборудована тремя радиально-осевыми гидротурбинами с вертикальными валами по 170 МВт каждая при потоке 157 м<sup>3</sup>/с. После запуска эта плотина будет генерировать 1,5 миллиарда киловатт-часов в год.
- **Эрменек** — асимметричная тонкая бетонная арочная плотина с двойной кривизной, которая будет иметь высоту 210 м, является одной из двух высочайших плотин в Турции и 6-й высочайшей плотинной в Европе. Эта плотина

возводится в чрезвычайно глубоком и узком ущелье, имеющем ширину менее 150 м у вершины и менее 5 м у дна.

- **Буюгдуз** — небольшая гидроэлектростанция мощностью 2 × 30 МВт.
- **Сарихидир** — небольшая русловая гидроэлектростанция вблизи города Невсехира.

Гидроэлектростанция	Блоки	МВт/блок
Бирезик	6	110
Боябат	3	170
Эрменек	2	150
Буюгдуз	2	30
Сарихидир	2	6,4

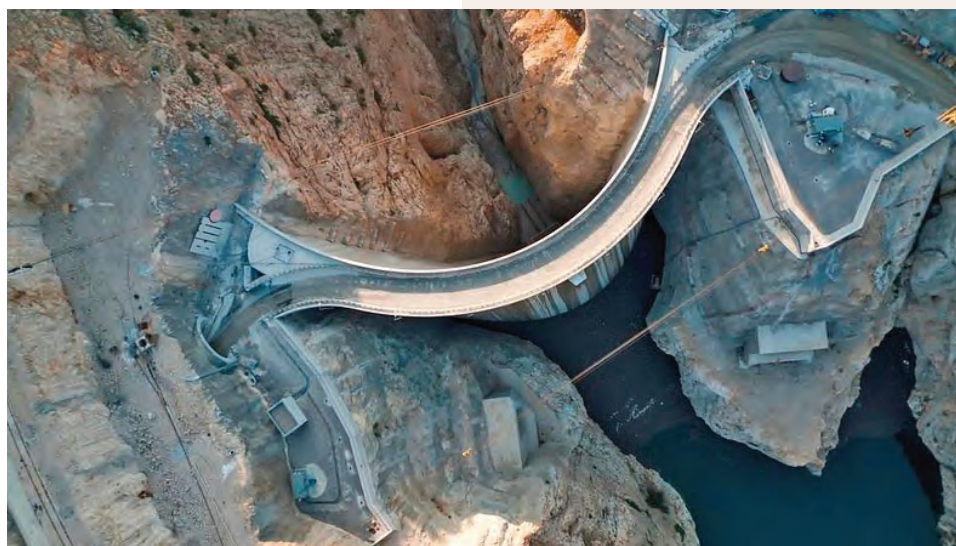
### Стратегия мониторинга

Мониторинг безопасности всех гидрогенераторных энергоблоков осуществляется системой сбора данных Brüel & Kjær Vibro VC-6000 (кроме ГЭС Буюгдуз, которая контролируется системой VC-920 и двух энергоблоков ГЭС Эрменек, которые контролируются системой VC-6000 Compact Monitor).

### Обширное развитие гидроэнергетики

Энергетические запросы Турции растут на 6–8% ежегодно, что составляет от 1,5 до 2 ГВт новых мощностей, требуемых каждый год вплоть до 2017 г. Большая часть этой электроэнергии в краткосрочной перспективе будет обеспечена экологически чистыми угольными и газовыми электростанциями, но Турция обладает обширным потенциалом гидроэнергетики, составляющим 128 миллиардов киловатт-часов, из которых используется лишь 35%. В настоящее время Турция имеет 142 гидроэлектростанции с установленной мощностью 13 ГВт, которые генерируют 46 миллиардов киловатт-часов в год (2007). В целях расширения использования возобновляемых источников энергии к 2023 году планируется увеличить потенциал гидроэнергетики на 60–100 миллиардов киловатт-часов.

Одним из крупнейших проектов регионального развития в Турции является проект **Юго-восточной Анатолии (Güneydoğu Anadolu Projesi или GAP)**. Этот обширный проект включает в себя план развития гидроэнергетики, согласно которому в этом регионе запланировано строительство 22 плотин. Гидроэлектростанции Бирезик и Эрменек, контролируемые системой VC-6000, являются частью этого важного проекта и помогают наступлению экономического благополучия в данном регионе.





## Система VIBROCONTROL 1500 была выбрана для мониторинга состояния малых гидрогенераторных энергоблоков в Норвегии

Система мониторинга вибрации VIBROCONTROL 1500 (VC-1500) была установлена на гидроэлектростанции Аунфосс для защиты ее гидрогенераторных энергоблоков мощностью 18 МВА. Эта система контроля вибрации доказала свою пригодность для этой цели, не только благодаря удобному интерфейсу управления, но и из-за своей расширенной функциональности.

### Гидроэлектростанция Аунфосс

Гидроэлектростанция Аунфосс, построенная в 1959 году, является одной из нескольких гидроэлектростанций, регулирующих поток воды в реке Намсен, известной, благодаря своему лососю. Она состоит из двух гидрогенераторных энергоблоков по 18 МВА каждый, оборудованных радиально-осевыми гидротурбинами с вертикальными

валами. Аунфосс была первой гидроэлектростанцией энергетической компании Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk (NTE), оборудованной системой контроля вибрации Brüel & Kjær Vibro VC-1500.

NTE является 92-летней локальной норвежской энергетической сетью. Она располагает 16 основными гидроэлектростанциями к северу от города Тронхейма. NTE обладает

### Факты о ГЭС Аунфосс:

Водосборная площадь	3000 км <sup>2</sup>
Мощность	2 × 18 МВА
Ежегодная производительность	199 ГВт·ч
Высота напора	30 м
Поток	76 м <sup>3</sup> /с

установленной мощностью 820 МВт, что ставит их на восьмое место среди крупнейших поставщиков электроэнергии в Норвегии — стране, в которой 99% электричества производится гидроэлектростанциями. Большая часть электроэнергии NTE производится малыми и средними гидроэлектростанциями, имеющими от 1 до 4 турбин.

За последние два десятилетия NTE и другие норвежские гидроэлектростанции перешли от режима непрерывной работы к периодической работе в режиме частичной нагрузки для лучшей адаптации к сезонным



Рис. 2. Генераторный зал ГЭС Аунфосс

изменениям напора воды и ценам на электроэнергию. Периодическая работа, несмотря на то, что она более экономична, возложила более высокую нагрузку на оборудование вследствие увеличения количества запусков и остановок гидроагрегатов.

#### Предыдущий опыт мониторинга

Исторически системы мониторинга оборудования NTE ограничивались датчиками температуры, давления и уровней масла в системах ГА. В последнее время на некоторых станциях системы контроля оборудования были расширены расширены за счет добавления функций контроля вибрации. Во-первых, контроль вибрации раньше дает предупреждение о наиболее важных зарождающихся неисправностях подшипников и валов, чем другие методики. Во-вторых, эффективное управление активами приобрело большее значение — не только в плане защиты оборудования, но и для более эффективной эксплуатации и планирования технического обслуживания.

По этим причинам было решено установить систему мониторинга вибрации на ГЭС Аунфосс в 2011 г. Хотя NTE обладает несколькими гидроэлектростанциями, не оборудованными системами контроля вибрации, большинство объектов уже используют эту методику и реализовали такие системы контроля. При этом более половины гидроэлектростанций NTE

используют оборудование контроля вибрации компании Brüel & Kjær Vibro! В течение нескольких лет компания Brüel & Kjær Vibro поставляла различные системы контроля компании NTE, в число которых входили VC-2000 и VC-4000. Эти системы осуществляют контроль гидрогенераторных энергоблоков мощностью от 4 до 75 МВт. Фактически системы контроля компании Brüel & Kjær Vibro в настоящее время используются для мониторинга свыше 150 гидротурбин в Норвегии.

#### Требования к системе мониторинга в Аунфоссе

Как и большинство других электростанций компании NTE, Аунфосс требует, чтобы любая новая система контроля вибрации дополняла существующую систему контроля смазки, а не заменяла ее. Система контроля вибрации должна главным образом использоваться для защитного мониторинга опорного подшипника, двух направляющих подшипников и вала, и обладать возможностью постепенного расширения для реализации функций мониторинга состояния, либо сразу, либо позднее для снижения огромных затрат вследствие простоя оборудования. Затраты вследствие простоя не ограничиваются лишь потерями производственного времени, но также связаны со снижением потока воды во время простоя, что негативно сказывается на производительности гидроэлектростанций,

расположенных ниже по течению. Процесс выбора идеальной системы мониторинга вибрации был нетривиальным. Типовая система мониторинга безопасности и состояния, монтируемая в стойку, обладает всеми необходимыми функциями и возможностями дистанционного мониторинга, необходимыми для данной задачи, но такая система была бы слишком дорогостоящей для контроля оборудования только одного или двух небольших ГА энергоблоков. С другой стороны на рынке присутствует множество недорогих блоков контроля вибрации, но они не обладают важными функциями для эффективного мониторинга критически важного машинного оборудования. После тщательного рассмотрения и исследования рынка ГЭС Аунфосс выбрала 2-канальную систему контроля VC-1500, поскольку она является оптимальным решением, предлагая надежные функции мониторинга абсолютной вибрации и некоторые ключевые функции мониторинга состояния, а также интерфейсную шину для экспорта данных.



Рис. 3. Блок контроля вибрации VC-1500



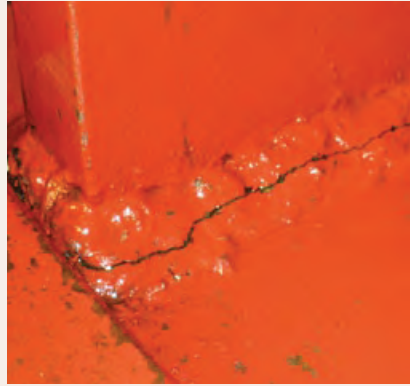
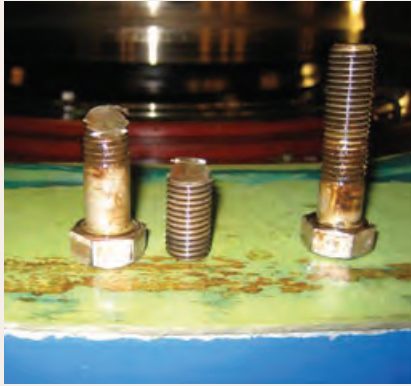


Рис. 4. Повреждение болта подшипника генератора (слева). Повреждение сварного шва корпуса подшипника генератора (справа).

### Необнаруженные дефекты

Перед установкой системы мониторинга вибрации Brüel & Kjær Vibro ГЭС Аунфосс, подобно другим электростанциям компании NTE, сталкивалась с неполадками, которые не обнаруживались ее существующей системой контроля. Это было одной из основных причин реализации системы мониторинга вибрации.

На ГЭС Аунфосс, как показано на рис. 4, в результате сильного повышения вибрации сорвало болты подшипника генератора. На этом же рисунке показана трещина сварного шва корпуса подшипника генератора, очевидно также вызванная вибрацией. Обоих этих неполадок можно было легко избежать, если бы, используя систему контроля

вибрации, проблему можно было обнаружить заблаговременно для проведения планового технического обслуживания.

### Малогобаритная система контроля VC 1500

Система VC-1500 получает сигналы от датчиков вибраций – акселерометров, установленных на несущем корпусе, для мониторинга состояния вала, радиальных подшипников скольжения и осевого упорного подшипника. Сигнал абсолютной радиальной вибрации интегрируется для получения параметров виброскорости, которые фактически позволяет получить более полные данные о вибрации деталей чем те, которые можно получить с помощью датчика смещения. При очень малой скорости акселометр не обладает таким широким динамическим диапазоном, как датчик смещения, но это не является проблемой для многих задач, и его намного проще установить и обслуживать.

Система VC-1500 является двухканальным блоком мониторинга абсолютной вибрации с двумя конфигурируемыми сигналами тревоги и уровнем срабатывания реле. Для каждого канала также предусмотрен выход

сигнала в формате 4–20 мА. Кроме того, система VC-1500 позволяет контролировать температуру по этим же двум каналам, но на ГЭС Аунфосс эта функция в настоящее время не используется, поскольку температура подшипников контролируется существующей аппаратурой.

Отображение данных, анализ тенденций и управление системой VC-1500 осуществляется компьютерным сервером по интерфейсу USB/CAN. Блок VC-1500 оборудован собственным дисплеем для отображения графиков и анализа данных.

Хотя на ГЭС Аунфосс данная возможность в настоящее время используется не полностью, одной из специальных функций системы VC-1500 является дистанционное управление через Интернет для подтверждения входящих сигналов тревоги, сброса реле и изменения настроек измерений. Также предусмотрены функции мониторинга

состояния, позволяющие дистанционно выполнять постобработку, анализ тенденций и частотный анализ данных.

Несколько устройств VC-1500 можно объединить в одну сеть, обеспечивая тем самым более эффективный контроль и диагностику нескольких машин. Две скорости передачи данных, настраиваемые по-отдельности, позволяют пользователю осуществлять гибкое управление, находясь на любом расстоянии.

### Конфигурация системы контроля

Для каждой турбины ГЭС Аунфосс используются два блока контроля VC-1500 (см. рис. 5 на следующей странице). Один блок контроля используется для радиального подшипника турбины, оборудованного двумя радиальными акселерометрами X-Y, разнесенными на 90 градусов. Второй блок используется для контроля подшипника генератора

случай  
из практики

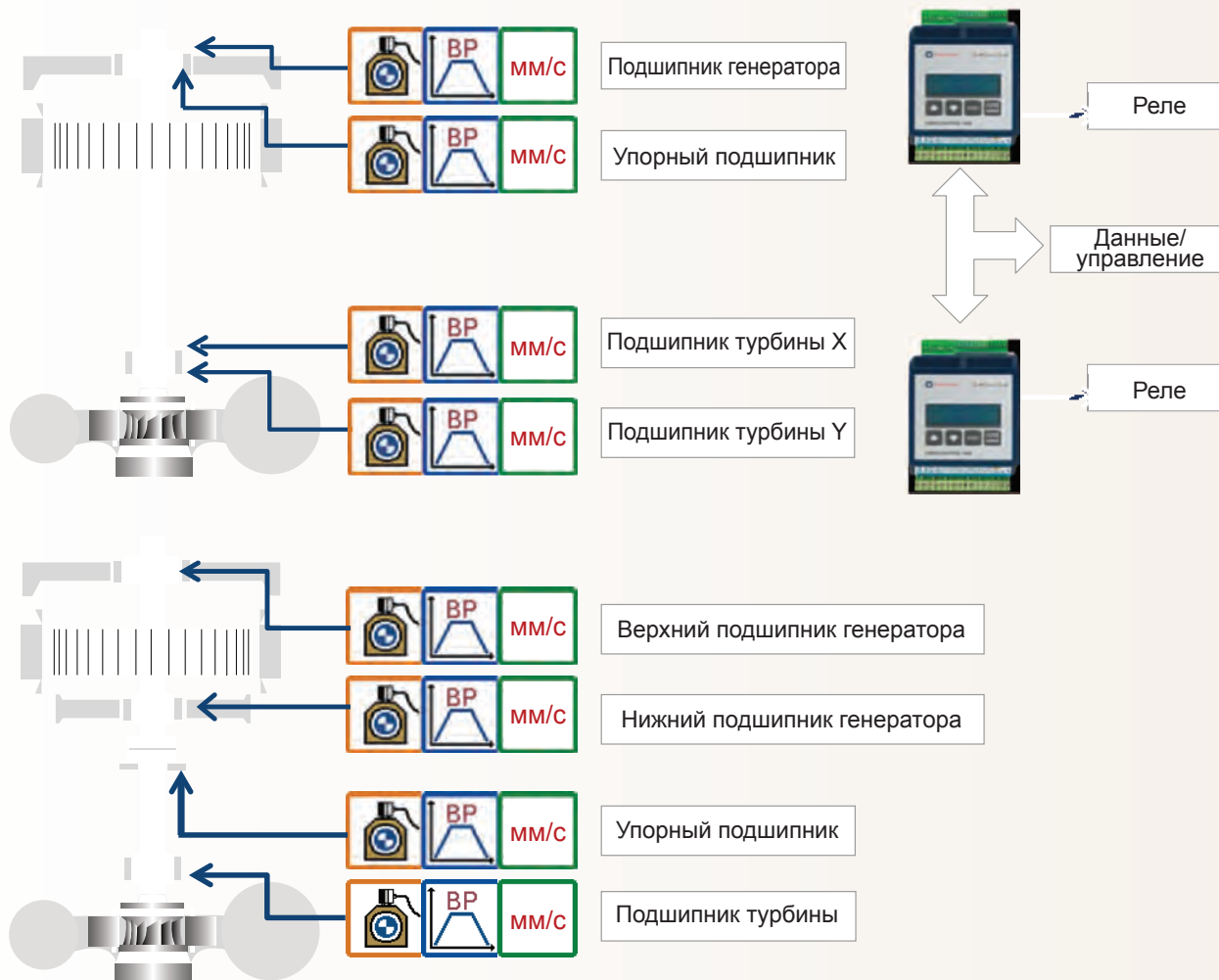


Рис. 5. Конфигурация системы контроля состояния ГЭС Аунфосс (сверху). Типовая установочная конфигурация для гидрогенераторных энергоблоков с тремя подшипниками, которые используются на электростанциях NTE (снизу) — показано в демонстрационных целях.

с одним акселерометром, установленным в радиальном направлении, а другим в осевом направлении на упорном подшипнике. Установка акселерометра показана на рис. 6.

Сигналы реле поступают в РСУ и систему аварийного отключения для остановки машины, в случае если вибрация укажет на надвигающуюся аварию (которая может иметь катастрофические последствия). Функция умножения уровня ограничения системы VC-1500

предотвращает остановку машины, когда повышенная вибрация возникает вследствие запуска или синхронизации. Отображение данных и управление системой осуществляется локально или компьютерным сервером по интерфейсу USB/CAN. Два блока контроля VC-1500 обычно устанавливаются в шкафу оборудования рядом с генератором на электростанции, как показано на рис. 7.



Рис. 6. Примеры установки акселерометров на подшипнике турбины, демонстрирующие простоту установки и обслуживания (используются акселерометры Brüel & Kjær Vibro AS 0070/02). Акселерометры установлены на корпусе подшипника турбины — один в направлении X (справа), а второй в направлении Y (слева). Подшипник генератора (не показан) оборудован одним радиальным (направление X) и одним осевым (направление Z) акселерометрами, разнесенными на 90 градусов.

## Настройки вибрационных измерений и сигнализации

Как показано на рис. 4, каждый блок контроля VC-1500 настроен для определенной задачи мониторинга. Эти настройки приведены в таблице 1.

## Заключение

В результате изменения стратегии управления многие малые гидроагрегаты стали подвергаться повышенной нагрузке, что может привести к непредсказуемым и более частым вынужденным отключениям. Вынужденное отключение одного энергоблока может быть очень затратным, поскольку оно может вызвать каскадный эффект снижения производительности гидроэлектростанций ниже по течению. Как продемонстрировано в данной статье о ГЭС Аунфосс, исходные системы контроля не были включены в проект для заблаговременного обнаружения всех важных видов потенциальных отказов с достаточным временем опережения.

ГЭС Аунфосс потребовала эффективной стратегии мониторинга вибрации во избежание вынужденных

отключений, и после тщательного поиска и отбора было решено использовать для этой цели систему контроля вибрации VC-1500. Система VC-1500 отвечает важным требованиям рынка, обеспечивает необходимые функциональные возможности, отсутствующие у недорогих блоков контроля вибрации, и соответствует экономическим требованиям, которые не позволяют использовать дорогостоящие системы контроля, монтируемые в стойку. Это особенно важно для контроля и защиты критически важных гидрогенераторных энергоблоков, которые относительно небольшие и используются группами по одному или двум блокам на электростанцию. К числу важных функций относятся:

- Два аварийных пороговых уровня и блокировка отключения.
- Измерение абсолютной вибрации.
- Стандартная экономичная конфигурация измерительных датчиков.
- Простое подключение и пользовательский интерфейс.
- Функции контроля состояния, такие как анализ тенденций.
- Дистанционный контроль, отображение данных и управление.

## Благодарности

Мы благодарим Оддвара Лундсенга из компании NTE за участие в создании этой статьи.

Мы также благодарим Тора Айвара Фьелдхейма из компании T.L Teknologi A/S за его участие, а также инженера по прикладной области Питера Сёрленда из компании Brüel & Kjær Vibro в Дании за его вклад в создание этой статьи и разработку стратегии мониторинга.



Рис. 7. Два блока контроля вибрации VC-1500 в шкафу контрольного оборудования.

Положение акселерометра (ориентация)	Параметр		Обнаружение неполадок по абсолютной вибрации от любого источника
	Измерение	Исходные аварийные пороговые уровни	
Подшипник генератора (радиальный, X)	Общая полоса частот сигнала скорости, СКВ (ISO: 1-1000 Гц)	Уровень тревоги = 2 мм/с Уровень отключения = 4 мм/с	Люфт подшипника, люфт основания, повреждение подшипника, недостаток смазки, перегрузка, износ, несоосность, дисбаланс и любая другая радиальная вибрация.
Подшипник турбины (радиальный, X-Y)			
Упорный подшипник (осевой, Z)	Общая полоса частот сигнала скорости, СКВ (ISO: 1-1000 Гц)	Уровень тревоги = 2 мм/с Уровень отключения = 4 мм/с	Осевое перемещение статора, неполадки упорного подшипника, обнаружение любой осевой вибрации.

Таблица 1. Типовые настройки блока VC-1500 для контроля состояния малых гидрогенераторных энергоблоков с двумя радиальными подшипниками.

случай  
из практики



**04–10 октября 2011 г.**

**Smart 2011**

Линц, Австрия

*Международная конференция  
и выставка*

[www.smart-automation.at](http://www.smart-automation.at)

7-я международная конференция Smart Automation в Австрии будет проведена в Центре проектирования в Линце. Это международное событие является платформой обмена информацией и сведениями австрийской индустрии автоматизации. Посетители экспозиций автомобильной, химической, электронной, пластиковой и других промышленных отраслей также смогут извлечь для себя пользу из обширной программы конференции. Продукция компании Brüel & Kjær Vibro будет представлена в выставочном стенде нашей австрийской торговой группы.



**23–27 апреля 2012 г.**

**Hannover Fair 2012**

Ганновер, Германия

*Технологии передачи  
электроэнергии и управления —  
Автоматизация — Энергетика —  
Субдоговора и услуги —  
Передовые технологии*

[www.hannovermesse.de](http://www.hannovermesse.de)

Эта мероприятие по демонстрации промышленных технологий не имеет себе равных, размещая более 65 000 участников из 65 стран. Выставочный стенд компании Brüel & Kjær Vibro будет находиться в секторе промышленной автоматизации.



**20–22 сентября 2011 г.**

**HydroVision Brazil 2011**

Рио-де-Жанейро, Бразилия

*Международная конференция  
и выставка*

[www.hydrovisionbrazil.com](http://www.hydrovisionbrazil.com)

Новейшее событие в Латинской Америке сосредоточено на развитии гидроэнергетики региона, а также секторе строительства плотин и гражданских сооружений. HydroVision Brazil обеспечивает стратегическую платформу для демонстрации возможностей и опыта развития региона, а также содержит практическую, ориентированную на решения программу конференции и параллельную выставку, сосредоточенную на новых технологиях, будущих тенденциях и решениях для бизнеса. Посетите экспозицию компании Brüel & Kjær Vibro в выставочном стенде № 128.



**17–19 октября 2011 г.**

**Hydro 2011**

Прага, Чешская Республика

*Международная конференция  
и выставка*

[www.hydropower-dams.com](http://www.hydropower-dams.com)

Ежегодная конференция Hydro проводится в различных частях света. Эта выставка-продажа с симпозиумом охватывает все технические, экологические, социальные и экономические аспекты гидроэлектростанций и будущих проектов разработки многоцелевых водных ресурсов для удовлетворения повышающегося спроса на электроэнергию в условиях изменения климата. Наша австрийская торговая группа будет готова отвечать на любые вопросы посетителей, относящиеся к технологиям мониторинга гидротурбинного оборудования.



**3–6 июня 2012 г.**

**AWEA Wind Power 2012**

Атланта, США

*Международная конференция  
и выставка*

[www.awea.org/events/](http://www.awea.org/events/)

Ежегодная выставка-конференция американской ассоциации энергии ветра WINDPOWER считается одной из лидирующих в мире торговых выставок технологий энергии ветра, объединяющей вместе посетителей и представителей всех отраслей промышленности. Участники выставки демонстрируют самую новейшую промышленную продукцию и услуги от лидирующих производителей, поставщиков компонентов и других организаций энергии ветра. В 2012 году компания Brüel & Kjær Vibro будет участвовать в выставке в составе датского павильона.