

## ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

УДК 681.518.5

Ишметьев Е.Н., Панов А.Н., Романенко А.В., Васильев Е.Ю., Коробейников С.М.

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ ВИБРОКОНТРОЛЯ И ВИБРОДИАГНОСТИКИ

Потребность в стационарных системах контроля и анализа вибрации различных машин и агрегатов неуклонно растет. Компания ЗАО «КонсОМ СКС», обладая собственной технической и научной базой в области неразрушающего контроля и технической диагностики, внедряет системы виброконтроля и вибродиагностики в различных отраслях промышленности. Системами виброконтроля оснащены планетарные редукторы, шестеренные клетки приводов прокатных станков, опоры промежуточных валов, опоры двигателей, опоры насосов.

По результатам работы систем виброконтроля эксплуатационные службы существенно увеличивают межремонтные интервалы, отслеживают фактическое техническое состояние оборудования, обоснованно планируют ремонтные работы. Внедренные системы оценивают как уровень среднеквадратичного значения виброскорости согласно ГОСТ 10816-1-1997, так и амплитудные значения виброскорости на частотах, рассчитываемых для характерных дефектов объектов контроля.

**Ключевые слова:** стационарная система виброконтроля, датчик вибрации, вибродиагностика, дефект, мониторинг, мнемосхема, среднеквадратическое значение.

Стационарные системы виброконтроля и вибродиагностики являются востребованными и необходимыми для предприятий различных отраслей промышленности: энергетики, нефтяной и газовой промышленности, химических и металлургических производств, транспорта.

Компания ЗАО «КонсОМ СКС», обладая собственной лабораторией неразрушающего контроля и специалистами с большим опытом работы по данному профилю, внедряет стационарные системы контроля и анализа вибрации на промышленных предприятиях последние пять лет. Подобные системы предназначены для контроля вибрационного состояния оборудования и его вращающихся частей. В системах данного вида датчики вибрации, согласующие усилители, устройства обработки и хранения данных установлены постоянно, а сбор данных осуществляется в непрерывном режиме.

Цель систем виброконтроля и вибродиагностики – своевременное распознавание отклонения состояния оборудования от нормального, чтобы выполнить корректирующие действия до того, как дефекты в различных частях оборудования приведут к ухудшению качества его работы, сокращению срока службы или аварийному останову.

Основными функциями системы виброконтроля являются:

- сбор данных с датчиков вибрации и сигналов смежных АСУ ТП, таких как токи, скорости, температура, давление масла;
- контроль любых вибрационных параметров в режиме on-line (например, среднеквадратичное значение скорости, среднеквадратичное значение ускорения и перемещения, пиковое значение и размах перемещения и др.);
- формирование архива значений вибрационных и других технологических параметров оборудования (базы данных);
- предупредительная сигнализация при регистрации аномальных вибрационных состояний в соответствии с требованиями ПТЭ и ГОСТ;
- построение текущих и архивных графиков вибропа-

- раметров и сигналов АСУТП (трендов);
- отображение данных на АРМ пользователей в удобном для восприятия виде (мнемосхемы);
- интеграция с существующими системами АСУ ТП.

В состав системы входят:

- датчики вибрации, установленные стационарно в «узких местах» объекта контроля;
- программируемый контроллер;
- сервер и рабочие станции пользователей;
- программное обеспечение системы.

АРМ вибромониторинга обеспечивает визуализацию вибрационных и других технологических параметров состояния оборудования на мнемосхеме. АРМ реализуется с использованием Flash-технологии и технологии «тонкий клиент», поэтому не требует установки дополнительных программных средств – все экранные формы открываются в виде обычных web-страниц с помощью стандартных браузеров, например Microsoft Internet Explorer.

Наиболее распространенными объектами контроля вибрационного состояния являются элементы электропривода, в частности редукторы, двигатели, опоры промежуточных валов, подшипники качения и скольжения.

Датчики вибрации постоянно регистрируют виброускорение на невращающихся частях объектов контроля (частота работы преобразователя 100 кГц). Электронные диагностические приборы принимают эти сигналы и рассчитывают амплитуды диагностируемых объектов на частотах, характерных для различных видов дефектов, которые автоматически корректируются в зависимости от скорости вращения двигателей. Дальнейшая обработка, хранение и представление информации осуществляется на сервере. Передача информации об уровне вибрации осуществляется с электронных диагностических приборов на сервер опроса посредством интерфейса Ethernet по технологии OPC.

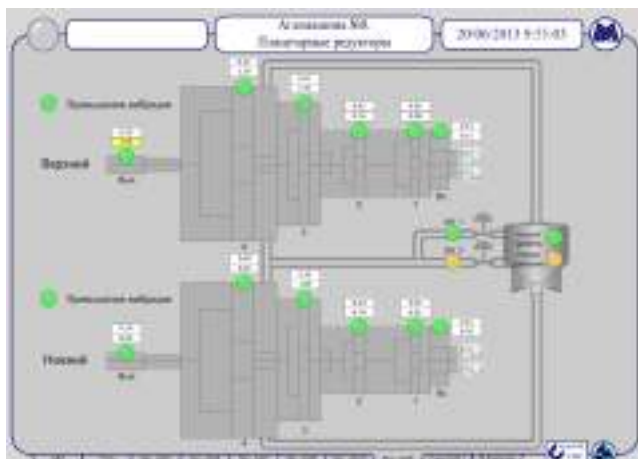
Работа с тегами (вычисление, формирование событий, архивирование данных.) осуществляется на сервере опроса посредством специализированного программного комплекса разработки ЗАО «КонсОМ СКС».

Для количественной оценки механических колебаний можно использовать различные параметры: размах, пиковое значение, среднее значение, среднеквадратическое значение. Среднеквадратическое значение (СКЗ) является самым важным параметром, так как в нем учитывается временное развитие исследуемых колебаний, и оно непосредственно отображает значение, связанное с энергией сигнала и, следовательно, разрушающей способностью этих колебаний. Согласно ГОСТ ИСО 10816-1-1997 среднеквадратичное значение (СКЗ) виброскорости, измеряемое в частотном диапазоне 10 – 1000 Гц, наиболее точно отображает опасность механических колебаний. Данный стандарт является базовым документом для разработки руководств по измерению и оценке вибрации машин. В нем приведены примерные критерии оценки для машин различных классов. В большинстве случаев контролируемое металлургическое оборудование относится ко 2 классу по ГОСТ ИСО 10816-1-1997.

В ГОСТ ИСО 10816-1-1997 для второго класса оборудования установлены предельные уровни вибрации, превышение которых в установившемся режиме работы машины приводит к подаче сигналов «ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ» или «РЕКОМЕНДУЕТСЯ ОСТАНОВ». Графическое отображение состояния оборудования на мнемосхеме (элементы агрегата подсвечиваются различными цветами в зависимости от уровня вибрации), регистрируемого системой:

- 1) зеленый – уровень вибрации (0 – 1,8) в допустимых пределах;
- 2) желтый – уровень вибрации (1,8 – 4,5) соответствует режиму «ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ» о превышении уровня вибрации выше допустимых;
- 3) красный – уровень вибрации (более 4,5) соответствует режиму «РЕКОМЕНДУЕТСЯ ОСТАНОВ».

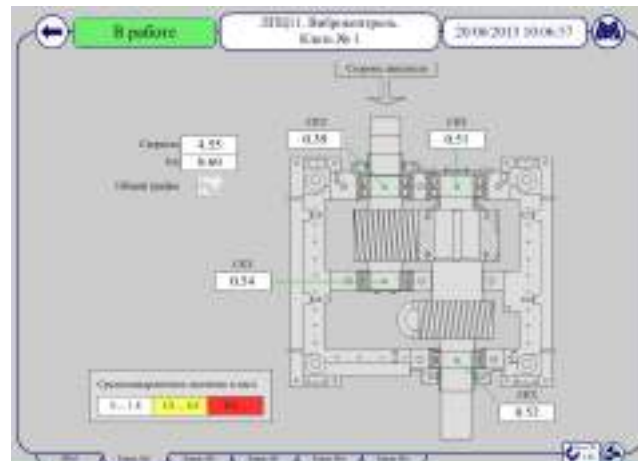
На **рис. 1** представлена действующая мнемосхема стационарной системы виброконтроля планетарных редукторов привода агломашины №8 аглофабрики №2 ОАО «ММК». Датчики вибрации установлены для контроля входного и выходного подшипников, а также для контроля всех четырех планетарных передач. Отслеживается СКЗ виброскорости согласно ГОСТ ИСО 10816-1-1997 и СКЗ виброскорости на частоте дефектов подшипников сателлитов.



**Рис. 1.** Мнемосхема системы виброконтроля планетарных редукторов привода агломашины №8 аглофабрики №2 ОАО «ММК»

После запуска в работу стационарной системы виброконтроля планетарных редукторов обслуживающим персоналом был увеличен межремонтный интервал с шести до восьми месяцев на основании собранных данных в течение полугода.

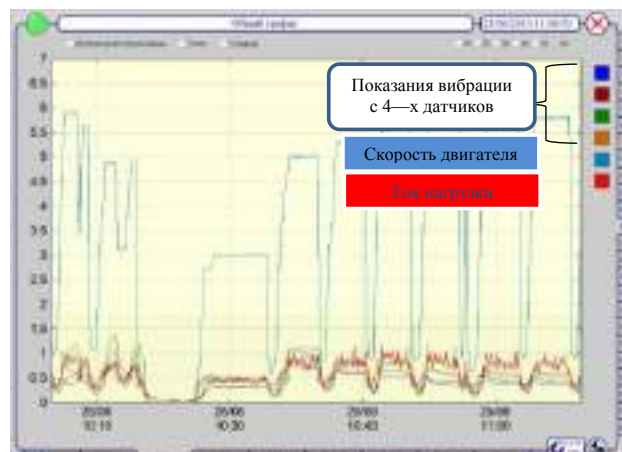
На **рис. 2** представлена мнемосхема системы виброконтроля шестеренной клетки №1 стана-тандем холодной прокатки ЛПЦ №11 ОАО «ММК».



**Рис. 2.** Мнемосхема системы виброконтроля шестеренной клетки №1 стана-тандем холодной прокатки ЛПЦ №11 ОАО «ММК»

На клетки №1-5 стана-тандем холодной прокатки ЛПЦ №11 ОАО «ММК» были установлены двадцать датчиков вибрации, контролирующих уровень вибрации на подшипниковых узлах, из расчета четыре датчика вибрации на одну шестеренную клетку.

Одним из способов оперативной оценки состояния механизма по среднеквадратичному значению виброскорости является комплексный анализ трендов СКЗ виброскорости, токов и скорости привода. Совмещенные графики этих параметров представлены на **рис. 3**.



**Рис. 3.** Совмещенные графики СКЗ виброскорости, скорости двигателя и тока нагрузки

На **рис. 4** представлена мнемосхема системы виброконтроля привода изгибо-растяжной машины ЛПЦ №11 ОАО «ММК».

Четыре датчика вибрации установлены на двигателях, по три датчика располагаются на корпусе согласующего редуктора (контроль состояния входного и двух выходных подшипников качения), а также по одному датчику на опорах валов. Регистрируются только

СКЗ виброскорости согласно ГОСТ ИСО 10816-1-1997.

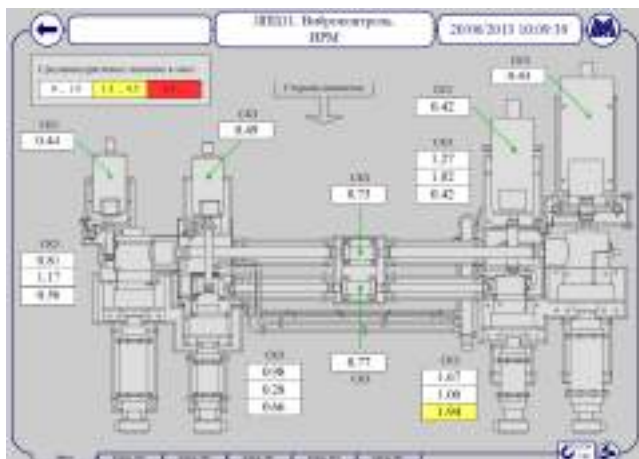


Рис. 4. Мнемосхема системы виброконтроля привода изгибо-растяжной машины ЛПЦ №11 ОАО «ММК»

На рис. 5-6 представлены мнемосхемы системы виброконтроля привода чистой группы клетей №5-11 стана 2500 горячей прокатки ОАО «ММК». Датчиками вибрации оборудованы опоры двигателей, опоры промежуточных валов, редукторы клетей №5-6, шестеренные клетки. Также для осуществления мониторинга состояния подшипников скольжения в опорах, шестеренных клетях, опорах двигателей установлены датчики температуры. Предусмотрена возможность одновременного отображения параметров вибрации, токов нагрузки, температуры и скоростей приводов.

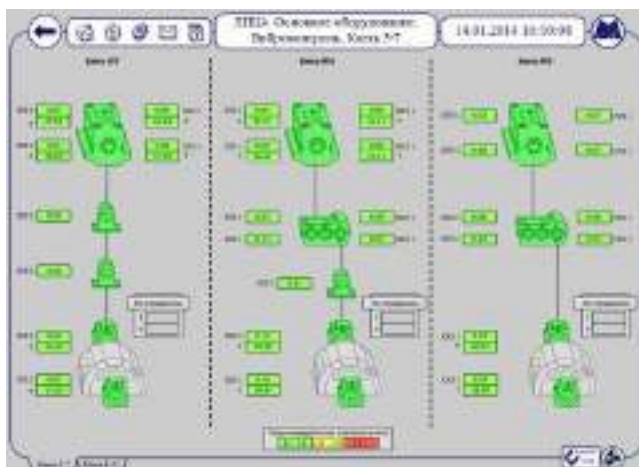


Рис. 5. Мнемосхема системы виброконтроля привода чистой группы клетей №5-№7 стана 2500 горячей прокатки ОАО «ММК»

Также хорошо поддается контролю и диагностике по сигналам вибрации оборудование горно-обогатительного производства. На рис. 7 представлена мнемосхема стационарной системы виброконтроля землесоса «ССПО» (г. Рудный, Казахстан).

Датчики вибрации установлены на опорах двигателя и насоса. Также один датчик вибрации расположен на внешнем корпусе самого насоса. Стационарной

системой виброконтроля регистрируются уровни СКЗ виброскорости согласно ГОСТ ИСО 10816-1-1997 и СКЗ виброскорости на частоте дефекта «дисбаланс» и несоосность.

Для повышения достоверности информации о техническом состоянии машины или механизма необходимо применять дополнительные инструменты. Примером такого инструмента может быть характеристика прецессии вала в подшипниках скольжения, так называемая «Орбита». Для построения графика орбиты вала проводится измерение вибрации вала относительно неподвижной части подшипника в двух взаимноперпендикулярных направлениях. Тенденция изменения орбиты будет говорить о степени износа вкладышей подшипников



Рис. 6. Мнемосхема системы виброконтроля привода чистой группы клетей №8-№11 стана 2500 горячей прокатки ОАО «ММК»

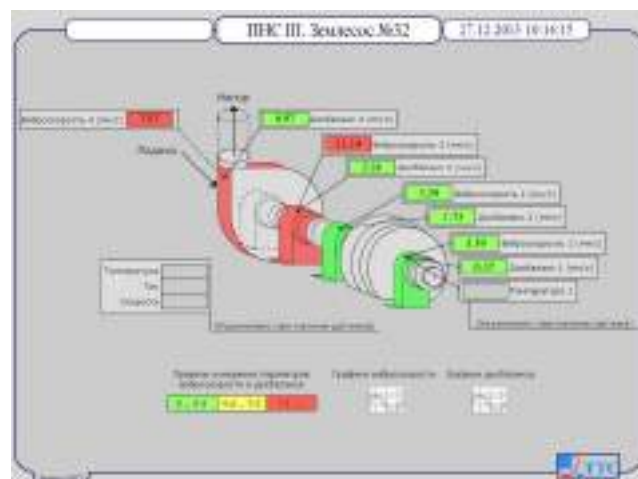


Рис. 7. Мнемосхема системы виброконтроля землесоса

В настоящее время специалистами ЗАО «КонсОМ СКС» ведется разработка стационарной системы измерения и отображения графика орбиты вала. Данная система, в совокупности с системой измерения абсолютной вибрации, позволит однозначно определять состояние подшипниковых узлов. Внедрений этой системы планируется в 2014 году в ЛПЦ-4 ОАО «ММК».

## INFORMATION IN ENGLISH

## PRACTICAL EXPERIENCE OF AUTOMATED STATIONARY VIBRATION CONTROL AND VIBRATION DIAGNOSTICS SYSTEM APPLICATION

Ishmetyev E.N., Panov A.N., Romanenko A.V., Vasilyev E.Yu., Korobeynikov S.M.

The demand for automated stationary vibration control and vibration diagnostics systems of various machines and units is growing steadily. CJSC «KonsOM SKS» has its own technical and scientific base in the field of Non-Destructive testing and Technical diagnostics and introduces the systems of vibration control and vibration diagnostics to various industries. Vibration control systems are implemented into planetary gears, gear drives of rolling mill stands, intermediate shaft bearings, engine mounts and bearing pumps.

After the introduction of vibration control systems opera-

tional services significantly increased maintenance intervals. Now they can monitor actual technical condition of the equipment and plan repairs reasonably. The implemented system evaluate both the level of RMS velocity according to ISO 10816-1-1997 and peak values of vibration velocity at frequencies calculated for characteristic defects of the controlled objects.

**Keywords:** stationary vibration control system, vibration sensor, vibration diagnostics, defect, monitoring, mnemocircuit, mean square root.

УДК 621.313.2

Завьялов А.С., Завьялов Е.А., Сарваров А.С., Петушков М.Ю.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАТУРНОГО АНАЛИЗА В ДИАГНОСТИКЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В статье рассматриваются существующие способы диагностики электродвигателей постоянного тока. Описаны требования к способу диагностики электродвигателя постоянного тока. Предлагается использовать сигнатурный анализ в сочетании с классическими способами диагностики.

**Ключевые слова:** двигатель постоянного тока, сигнатурный анализ, диагностика, полином.

## АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Несмотря на то, что на текущий день в промышленности электродвигатели постоянного тока постепенно уступают место асинхронным двигателям с частотным регулированием, в распоряжении предприятий по экономическим причинам в эксплуатации остаётся значительное количество двигателей постоянного тока. В процессе эксплуатации электродвигателей неизбежно возникают отказы, что приводит к нарушению технологического процесса, а следовательно, к экономическим потерям предприятия. Для того чтобы снизить количество отказов электродвигателя постоянного тока, требуется постоянный мониторинг технического состояния электродвигателя с последующим использованием полученной информации для проведения диагностики.

## ВВЕДЕНИЕ

Выделяют два вида диагностирования: тестовый и функциональный. Тестовая диагностика характеризуется тем, что проводится на отключенном от сети электродвигателе. Недостатками такого метода являются низкая эффективность, связанная, прежде всего, с тем, что тестовое диагностирование по определению определяет работоспособное состояние. И не может выявить неисправности, свойственные рабочему режиму. Автоматизация процесса также не высока. Напротив, функциональная диагностика выполняется на работающем электродвигателе, что позволяет определять

его ресурс и проводить техническое обслуживание электродвигателя по состоянию вместо планового обслуживания.

Можно выделить несколько видов диагностики электродвигателей постоянного тока: вибрационная диагностика, тепловизионный контроль, поиск частичных разрядов при помощи специализированных датчиков, изучение спектра тока якоря. Вибродиагностика и изучение спектра тока якоря позволяют диагностировать наибольшее количество дефектов из перечисленных методов. Данные методы могут применять совместно с целью выявления наибольшего количества дефектов.

В общем случае в токе якоря могут присутствовать ряды гармонических составляющих с частотами  $kf_{\pi}, 2kpf_{\pi}, kf_{Za}, kf_{Zv}$  и, в зависимости от наличия разных дефектов электромагнитной системы электродвигателя постоянного тока, с боковыми составляющими, отличающимися на частоты  $\pm kf_{\pi}, \pm 2kpf_{\pi}, \pm kf_{Za}$ .

Недостатком этих методов является использование больших объемов информации, что не всегда удовлетворяет требованиям технологического процесса относительно быстрого поиска неисправности и последующего её устранения [2].

Диагностические признаки основных дефектов МПТ при их диагностике по спектрам вибрации и/или тока якоря сведены в **таблицу**. В ней приведены частоты тех составляющих вибрации и тока якоря, которые растут при появлении и росте указанных дефектов.