

УДК 669.02/09

д.т.н. Сидоров В. А.,
к.т.н. Ошовская Е. В.,
Агарков А. А.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

СТАЦИОНАРНЫЕ СИСТЕМЫ ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье рассмотрены этапы развития стационарных систем вибрационного контроля. Проанализированы компоновка, элементы, выполняемые функции. Конфигурация систем наиболее приспособлена для работы с механическим оборудованием, работающим в длительном режиме. Сложность проектирования и эксплуатации системы мониторинга заключается в выборе и использовании диагностической информации. Показаны пути дальнейшего развития систем.

Ключевые слова: механическое оборудование, техническое диагностирование, стационарные системы, контроль технического состояния.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Одним из уровней использования средств технического диагностирования при контроле фактического состояния механического оборудования является применение стационарных систем [1...5]. Обеспечение непрерывного наблюдения за техническим состоянием механизмов, получение данных о параметрах вибрации в точках недоступных для измерения во время технологического процесса — основные функции стационарных систем вибрационного контроля. Кроме энергетического оборудования данные системы всё шире применяются для диагностирования металлургических машин.

Постановка задачи. На современном этапе развития круг решаемых задач и возможности стационарных систем постоянно расширяются, при этом их внешняя структура остается неизменной. Это требует обобщения для определения основных направлений дальнейшего развития данной приборной реализации вибрационной диагностики.

Изложение материала и его результаты. Одним из первых механических сигнализаторов о недопустимом уровне вибрации была монета, поставленная на ребро. Установка подвижного элемента (монеты) на упругом элементе позволяло обеспечить сигнализацию о высоких параметрах вибрации (рис. 1). В некоторых

конструкциях механизмов в качестве сигнализаторов используются элементы с частотой резонанса, соответствующей частоте наиболее вероятного повреждения.

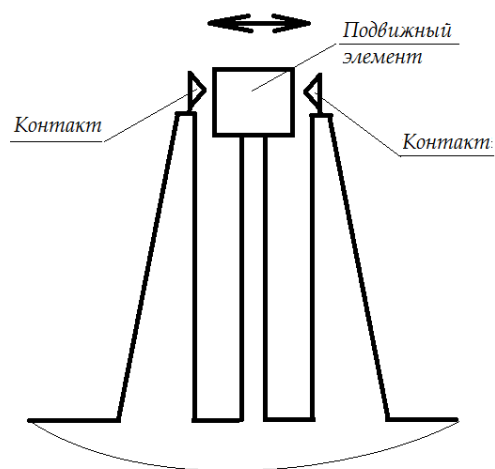


Рисунок 1 Механические системы непрерывного контроля вибрации с сигнализатором недопустимого размаха виброперемещения

Использование проксиметров и пьезоэлектрических датчиков при измерении параметров вибрации позволило создать одноканальные аналоговые системы вибрационной защиты. Одноканальные электронные вибрационные выключатели (рис. 2) выполняют предупреждение о повышении одного или нескольких параметров вибрации до опасного (заданного) уровня. Контролируемым параметром в таких системах

являются: среднеквадратичное значение (СКЗ) виброскорости, пиковое значение виброперемещения, СКЗ виброускорения, параметры состояния подшипников качения. Предупреждающий сигнал выдаётся

после реализации определённого количества превышений заданного уровня, при этом включается звуковая или световая сигнализация, возможна принудительная остановка оборудования.



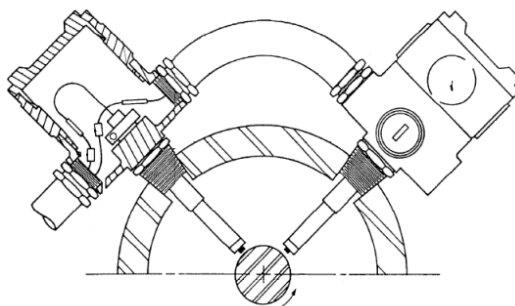
а



б



в



г

Рисунок 2 Компоненты одноканальных систем виброзащиты:

а) измерительный блок VIBROCONTROL 868; б) измерительный блок Machine Condition Transmitter (MCT) CMSS 530; в) измерительный блок ifm electronic и схема установки проксиметров для контроля перемещения вала (г)

Типичная конфигурация системы одноканальной защиты (рис. 3) включает один или два датчика и электронный модуль (система VIBROCONTROL 1000, система VIBROCONTROL 1100 и др.). Сигнал от датчика преобразуется в параметр контроля, устройство сравнивает измеренное значение с установленными ограничениями и при необходимости включает реле внешнего управления. Имеется возможность настройки двух пределов предупредительных сигналов. Регулируемое время задержки реле предотвращает ложные срабатывания. Возможно использование датчиков для измерения абсолютной или относительной вибрации, контроля осевого положения вала.

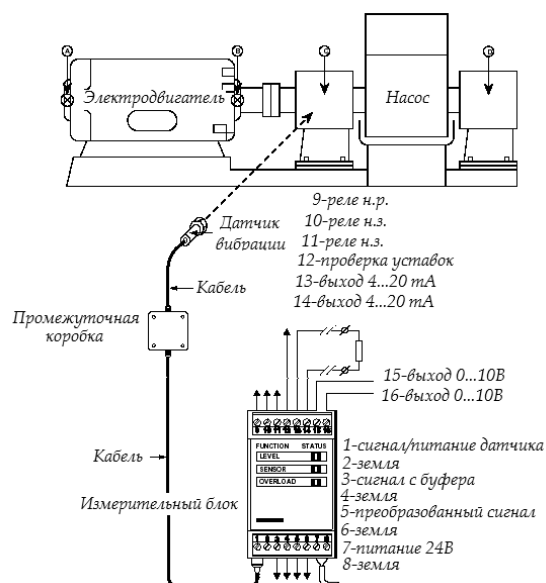


Рисунок 3 Одноканальная система контроля

Надёжность работы одноканальной системы контроля зависит от качества технического обслуживания коммутирующего оборудования, метрологического сопровождения датчиков и интенсивности использования информации.

При одновременном контроле нескольких взаимодополняющих параметров используют блочный принцип, основанный на единой элементной базе и конструкторском решении.

Наиболее характерно данное построение для стационарных систем диагностирования механизмов роторного типа. При этом контролируемыми диагностическими параметрами являются: параметры вибрации корпусов подшипников, биения вала, орбита движения вала, частота вращения, температура смазочного материала. Сигнализирующая система встроенного контроля предполагает участие оператора и дополнительный спектральный анализ для точной постановки диагноза.

Измерительные блоки представляют собой независимые друг от друга устройства. Каждый блок индивидуально программируется. Измерительный и сигнализирующий блоки осуществляют сравнение зафиксированных значений параметра с запрограммированными. На основании данного сравнения выдается цветовой код состояния (зеленый, желтый, красный) и формируется сигнал для включения внешних устройств тревоги или отключения механизма.

Следующий этап развития стационарных систем контроля связан с возрастанием количества точек диагностирования. Однотипность алгоритмов контроля привело к соединению измерительной (датчики, линии связи, предусилители), коммутационной (промежуточные блоки связи) и вычислительной (персональный компьютер) подсистем в единую систему. По данной схеме (рис. 4) построены практически все многоканальные системы вибрационного контроля.

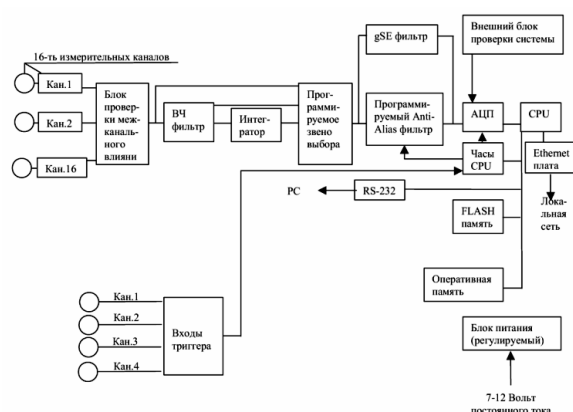


Рисунок 4 Принципиальная схема многоканальной системы

Система состоит из датчиков, устанавливаемых на контролируемых узлах оборудования, соединенных кабельными трассами с блоками коммутации, смонтированных в непосредственной близости от контролируемого оборудования. В состав блока коммутации входит одноплатный компьютер, аппаратные средства коммутации и цифровой обработки сигналов, а также программное обеспечение для измерений, определения технического состояния и выбора приоритета опроса контролируемого узла в зависимости от технического состояния. Информация от блоков коммутации по локальной промышленной сети Ethernet поступает на центральный компьютер, который располагается в помещении оператора. Компьютер выполняет функции отображения и хранения диагностической информации, прогнозирования технического состояния контролируемых узлов, контроля состояния измерительных трактов, внутренней и внешней сетей, создания отчетов и выполнения заданий оператора. Оператор в любой момент времени может прервать выполнение автоматических операций и дать задание на внеочередное измерение контролируемого узла. Информация из стационарной системы технического диагностирования может передаваться в любую сеть предприятия.

Рассмотрение и анализ применения стационарных систем диагностики выявили проблему, связанную с периодичностью измерений и объемами накапливаемой информации. Следует отметить, что в одноканальных системах цикл измерения составляет 0,25 с при работе с одним каналом измерения и 6...20 с для двух каналов. Увеличение количества датчиков приводит к возрастанию периода опроса, и многоканальные стационарные системы перестают быть системами непрерывного контроля. Из опыта практических работ на различных видах оборудования следует, что для механического оборудования не требуются дорогостоящие системы с функциями параллельного опроса каналов и защиты в режиме реального времени. Наиболее оптимальным решением по соотношению «цена – функциональность – достоверность диагностики» для эффективного решения задач мониторинга и оценки технического состояния в этом случае являются системы с последовательным опросом каналов, обеспечивающие периодичность сбора данных 15–20 мин. При этом предполагается, что в течение выбранного периода времени, определяющего периодичность измерений, возникновение аварийной ситуации маловероятно. Хотя в некоторых случаях возникает необходимость фиксации однократного механического удара в вибрационном сигнале (например, при обрыве клапана у компрессора, лопатки у турбины и т. д.).

В многоканальных стационарных системах вибрационного контроля последнего поколения отмечается расширение функций за счёт дополнительного модуля анализа спектров механических колебаний, что позволяет диагностировать подшипники качения, валы, зубчатые передачи и др. Кроме того предусматривается возможность контроля широкого перечня дополнительных «невибрационных» параметров, таких как температура, потребляемый ток, частота вращения и т.д., что позволяет получить дополнительную информацию о текущем состоянии контролируемого оборудования, что повышает эффективность работы системы. В современ-

ных системах на аппаратном и программном уровне предусмотрено подключение различных видов датчиков с разными выходными интерфейсами и получение информации непосредственно из АСУ ТП. Примером такой системы является система COMPASS, разработанная фирмой «Брюль и Кьер», в которой выполняется контроль диагностических (вибрация, температура) и технологических (расход, давление) параметров. Еще одной тенденцией развития является беспроводная связь датчиков с системой контроля (рис. 5). Беспроводной ввод данных по каналу Bluetooth позволяет измерять параметры подвижных и вращающихся объектов. Однако на промышленных предприятиях наличие параллельных радиоканалов может привести к сбоям в работе оборудования, а передача данных по одному каналу не обеспечивает необходимой скорости передачи информации. Накопление данных в промежуточных модулях приводит к обесцениванию оперативности использования параметров вибрации, поэтому данное направление требует дальнейшей проработки.

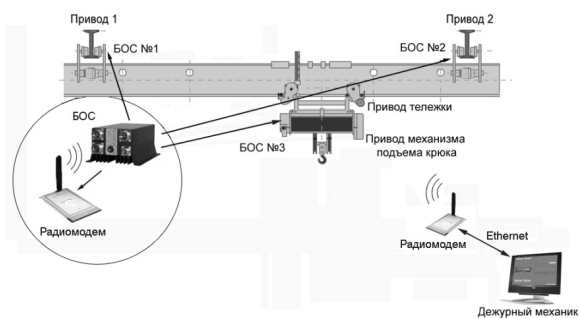


Рисунок 5 Структура беспроводной системы

Таким образом, обзор многоканальных стационарных систем вибрационного контроля показал, что их конфигурация наиболее приспособлена для работы с механическим оборудованием, работающим в длительном режиме.

В состав большинства систем входят следующие элементы:

1. Первичные датчики: акселерометры, таходатчики, датчики параметров технологического процесса.

2. Блоки коммутации измеряемых параметров, имеющие элементы защиты и возможность самостоятельной работы.

3. Блок преобразования информации и согласования входных сигналов с ЭВМ.

4. ЭВМ с программным обеспечением для мониторинга и диагностирования.

5. Анализаторы-сборщики информации, обеспечивающие дополнительную возможность сбора данных, в том числе с помощью переносных приборов.

6. Блоки контроля технологических параметров: температура, давление, расход и др.

Программное обеспечение, используемое в системах, обеспечивает сохранение, визуализацию и оценку результатов измерений, а также осуществляет связь с переносными приборами-сборщиками информации.

Высокий уровень надёжности стационарных систем контроля достигается за счет: самодиагностики, буферизации данных в случае сбоя компьютера, распределения вычислительных мощностей, защиты от несанкционированного доступа.

Сложности в использовании систем вибрационного контроля связаны с выбором и применением диагностической информации. Эта функция перекладывается на потребителя продукции. В качестве рационального решения данной проблемы можно рекомендовать следующий подход.

Для контроля технического состояния механического оборудования обычно достаточно использовать общие уровни виброскорости, виброускорения или виброперемещения, измеряемые в стандартных или пользовательских полосах частот. Для оборудования с лопаточным аппаратом (турбин и компрессоров) дополнительно можно выполнять контроль вектора вибрации. С целью выявления причин повышенной вибрации дымососов, вентиляторов, насосов и т.д. достаточно использовать спектральный анализ вибрации. Для этого система должна обеспечивать расчет прямых спектров виброскорости и виброускорения в диапазонах частот с разрешением от 6400 линий. При диагностировании многоступенчатых

редукторов дополнительно требуется выполнять ряд специальных замеров — временных реализаций этапов разгона, торможения, реверсирования и др.

Выводы и направление дальнейших исследований.

Необходимо отметить, что использование стационарных систем диагностики механического оборудования всё ещё ограничивается из-за их высокой стоимости; больших объёмов накапливаемой информации, которая не используется для определения технического состояния машин; затрат на поддержание системы в работоспособном состоянии и требования высокого уровня квалификации специалистов.

Особенности металлургического производства накладывают также дополнительные требования к системам, связанных с возможностью функционирования в условиях повышенной влажности, запыленности, высоких температур, ударных нагрузок и существенных электромагнитных полей.

Несмотря на указанные факторы, применение стационарных систем контроля для защиты механического оборудования от превышения нормативных параметров работы является обоснованным в следующих случаях: 1) недоступность оборудования для осмотра; 2) многофакторная зависимость технического состояния машин; 3) необходимость постоянного наблюдения за параметрами технического состояния.

При этом рациональным вариантом функционирования систем следует признать двухуровневый контроль:

1) измерение общего уровня вибрации и временного сигнала любой длительности;

2) детальное диагностирование контролируемых узлов; спектральный анализ.

Для эффективного диагностирования необходимо применять специализированное программное обеспечение с функциями автоматизированного анализа и обработки данных, так называемого «экспертного» модуля, который позволяет в автоматическом режиме проводить фильтрацию и классификацию данных, а также рассчитывать основные ча-

стоты неисправностей, анализировать тренды и на основании заложенных диагностических моделей выдавать заключения о текущем состоянии оборудования и наличии развивающихся дефектов.

Получаемая от стационарных систем контроля информация должна использо-

ваться специалистами службы диагностирования совместно с персоналом ремонтных служб участка, цеха, предприятия для своевременного принятия решений о техническом обслуживании и ремонтах механического оборудования.

Библиографический список

1. Гайгемюллер, Г. Диагностика агрегатов в прокатных цехах [Текст] / Г. Гайгемюллер, У. Клаппорт, У. Лейтриц // Черные металлы. — 1996. — № 12. — С. 48–50.
2. Мекел, Дж. Применение компьютеризированных систем наблюдения и диагностики на прокатных станах [Текст] / Дж. Мекел, В. Геропт, А. Аш // Черные металлы. — 1999. — № 12. — С. 53–60.
3. Сушко, А. Е. Вибродиагностика в системах технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования металлургических производств [Текст] / А. Е. Сушко, М. А. Деми // Вибрация машин: измерение снижение защита. — 2005. — № 1. — С. 6–9.
4. Сидоров, В. А. Выбор диагностических параметров стационарных систем контроля технического состояния металлургических машин [Текст] / В. А. Сидоров, А. Е. Сушко // Техническая диагностика и неразрушающий контроль: ежеквартальный научно-технический и производственный журнал. — 2010. — № 4. — С. 46–50.
5. Сушко, А. Е. Методология внедрения аппаратно-программных средств мониторинга технического состояния и диагностики прокатных станов по различным параметрам вибрации [Текст] / А. Е. Сушко // Сталь. — 2011. — № 5. — С. 60–65.

© Сидоров В. А.

© Ошовская Е. В.

© Агарков А. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ОПМ ДонНТУ Ченцовым Н. А.,
д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А.

Статья поступила в редакцию 28.09.17.

д.т.н. Сидоров В. А., к.т.н. Ошовська О. В., Агарков А. О. (ДонНТУ, м. Донецк, ДНР)

СТАЦІОНАРНІ СИСТЕМИ ВІБРАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

В статті розглянуті етапи розвитку стаціонарних систем віброконтролю. Проаналізовані компоновка, елементи, функції, що виконуються. Конфігурація систем найбільш підходить для роботи з механічним обладнанням, що працює в тривалому режимі. Складність проектування та експлуатації системи моніторингу полягає у виборі та використанні діагностичної інформації. Надані шляхи подальшого розвитку систем.

Ключові слова: механічне обладнання, технічне діагностування, стаціонарні системи, контроль технічного стану.

Doctor of Tech. Sc. Sidorov V. A., PhD Oshovskaya Ye. V., Agarkov A. A. (DonNTU, Donetsk, DPR)
STEADY-STATE SYSTEMS FOR VIBRATION CONTROL OF THE MECHANICAL EQUIPMENT

The paper concentrates on the development stages of the steady-state systems for vibration control. The layout, elements and functionality have been analyzed. The systems' configuration is best applicable for a work with mechanical equipment running in a long-term mode. Design and operation complicity of the monitoring system is in choosing and using the diagnostic information. The ways for further systems development are shown.

Key words: mechanical equipment, technical diagnostics, steady-state systems, technical state control.