

УДК 669.02/09

д.т.н. Сидоров В. А.  
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

## ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*В статье определены некоторые особенности вибрационной диагностики механического оборудования металлургических предприятий, предполагающей возможность комплексного применения средств технического диагностирования: портативных приборов, анализаторов вибрации, стационарных систем. Приведены результаты технического диагностирования энергетических, транспортных и металлургических машин. Установлены основные предпосылки эффективности и достоверности технического диагностирования.*

**Ключевые слова:** металлургическое предприятие, механическое оборудование, техническое диагностирование, параметры вибрации.

### **Проблема и её связь с научными и практическими задачами.**

Металлургическое производство можно представить как функцию перемещения и преобразования материалов для получения конечного изделия — металлопроката. В этом технологическом процессе взаимосвязанно участвуют три группы механического оборудования:

- энергетические машины — общетехнического и специального исполнения, например, эксгаустеры агломерационных фабрик и конвертерных цехов;

- транспортирующие машины — автомобильный, железнодорожный транспорт, подъёмные и транспортирующие машины общетехнического и специального исполнения;

- металлургические машины — непосредственно или опосредованно участвующие в технологическом процессе получения металлопродукции.

Комплекс механического оборудования металлургического предприятия обеспечивает непрерывность протекающего технологического процесса. Это определяет особые требования к системам обеспечения безотказности функционирования оборудования и, в частности, к ремонтным подразделениям, выполняющим техническое обслуживание и ремонт во время фиксированных технологических пауз и остановок. Проведение ремонтов метал-

лургических агрегатов должно быть обосновано техническим состоянием и связано с короткими сроками ремонта, привлечением специализированных ремонтных и монтажных предприятий.

Оценка технического состояния определяет возможности прогнозирования и подготовленность ремонтных служб. Особенностью технического диагностирования механического оборудования является преобладание процедур измерения над процедурами контроля. Наиболее информативным в данном случае является измерение параметров вибрации [1...5]. На основании проведенных исследований формируются отраслевые направления технической диагностики. Работа служб диагностирования на металлургических предприятиях имеет ряд особенностей, среди которых вопросы организации вибрационного контроля механического оборудования, включая выбор режимов измерения, оценку состояния, постановка диагноза и использование информации.

**Постановка задачи.** Задачей работы является рассмотрение особенностей вибрационной диагностики механического оборудования в условиях действующих металлургических предприятий, предполагающей возможность комплексного применения средств технического диагностирования: портативных приборов, анализаторов вибрации, стационарных систем виброконтроля.

**Изложение материала и его результаты.** Оценка технического состояния механического оборудования без контроля параметров вибрации невозможна. Одним из основных условий обеспечения работоспособного состояния механического оборудования является низкий уровень вибрации, позволяющий уменьшить значение разрушительной энергии, создаваемой паразитными силами внутри механизма. Требуется минимизация динамических, в частности ударных процессов, что делает необходимым проведение контроля не только виброскорости, но и виброускорения. Одинаковые в целом подходы к виброметрии механизмов и машин требуют учёта индивидуальных особенностей конструкции, эксплуатации и ремонта относительно групп механического оборудования металлургических предприятий.

*Энергетические машины* работают в режиме длительной эксплуатации при стабильной нагрузке и постоянной частоте вращения, что значительно упрощает диагностирование. Существующие стандарты, регламентирующие значение вибрационных параметров, в большей степени ориентированы для этой группы машин.

Диагностирование турбин, генераторов, турбокомпрессоров, насосов, вентиляторов, дымососов осуществляется, так же, как и на электростанциях, предприятиях химической промышленности, при помощи переносных виброметров и анализаторов.

Переносные виброметры используются технологическим персоналом или специалистами ремонтной службы для оперативного контроля параметров вибрации в режиме «соответствует – не соответствует». Превышение допустимых значений является поводом к приглашению специалистов службы диагностирования предприятия, оснащённых анализаторами вибрации для определения причин повышения вибрации и определения необходимости проведения ремонта. Следует отметить появление приборов, имеющих возможности

измерения и записи спектров параметров вибрации для оперативного контроля.

Постоянный мониторинг осуществляется при помощи стационарной системы вибрационного контроля. Необходимость постоянного мониторинга специфических для металлургии энергетических машин — эксгаустеров (рис. 1) — определяется внезапным развитием повреждений из-за воздействия сторонних факторов.



Рисунок 1 Общий вид эксгаустера

Например, специалистами управления диагностики были зафиксированы остановки эксгаустеров в холодное время года. Большая часть остановок вызывалась повышенной вибрацией подшипников ротора. В спектрах виброскорости это выглядит как повышение амплитуды высших гармоник. После замены ротора вибрация снижалась. Никаких ремонтных воздействий, кроме замены ротора, персонал аглофабрики не производил. В результате проведенного исследования установлено, что выход из строя роторов связан с налипанием на них пыли.

Получена следующая зависимость: на большинстве вышедших из строя эксгаустеров (за период до 2-х недель) температура отходящих газов непрерывно и скачкообразно менялась, находясь в интервале от 20...88°C. Температура отходящих газов ниже 55...57°C недопустима, т.к. ведет к возможности конденсации влаги, что спо-

способствует засорению тракта газоочистки и залипанию лопаток ротора эксгаустера.

На основании проведенных исследований установлено, что на работу эксгаустера оказывает влияние множество технологических и технических факторов, поэтому возникают сложности в прогнозировании работоспособности эксгаустера по значениям параметров вибрации. Для предупреждения длительного воздействия вибрации, уменьшения объема ремонтных работ и исключения возникновения аварийных ситуаций принято решение о закупке стационарных систем вибродиагностики. Аналогичные системы успешно эксплуатируются на эксгаустерах конвертерного цеха.

*Транспортирующие машины.* Относительно автомобильного и железнодорожного транспорта используется регламентный подход к техническому обслуживанию и ремонту. В этом случае наиболее целесообразным является использование диагностических стендов, в составе которых наряду с вибрационными должны быть и специфические для двигателей внутреннего сгорания диагностические параметры: расход топлива и масла, состав выхлопных газов и др. Применяются стенды для входного и выходного контроля буксовых узлов колёсных пар и для диагностирования колёсно-моторного блока. Обязательное использование при этом компьютерных и экспертных программ, безусловно, подразумевается.

Конвейерный транспорт, работающий в длительном режиме, позволяет использовать принципы диагностирования энергетических машин. Одна из особенностей диагностирования конвейера связана с более низкими значениями параметров вибрации, при которых требуется проведение ремонта. Вторая особенность — использование визуального контроля и термометрии при диагностировании состояния роликов рабочей и холостой ветвей конвейера.

Некоторую сложность представляет диагностирование приводных редукторов, но внимательный относительный анализ спектрограмм виброскорости и виброускорения

позволяет не только определить момент возникновения повреждений, но и идентифицировать дефект для последующего подтверждения при визуальном осмотре.

На металлургических предприятиях эксплуатируется значительное количество кранового оборудования. Большинство металлургических кранов осуществляют перемещение расплавленного и горячего металла, поэтому к их безотказности предъявляются высокие требования, а контроль и дальнейшее распознавание технического состояния являются ответственными операциями, обеспечивающими техногенную безопасность производства. Важным является не только качественное измерение диагностических параметров для контроля технического состояния механизмов крана, но и интерпретация результатов измерений, позволяющая оценить и классифицировать техническое состояние, своевременно распознать имеющиеся неисправности.

В настоящее время оценка технического состояния металлургических кранов, как и большинства металлургических машин, выполняется по параметрам вибрации, измеряемым на неподвижных подшипниковых узлах механизмов. Специфические условия эксплуатации, труднодоступность, различные режимы работы не позволяют использовать традиционные подходы виброметрии, применяемые для диагностирования роторных машин, работающих в длительном режиме, несмотря на значительный накопленный практический опыт.

При измерении общего уровня вибрации механизма подъема литейного крана следует проводить измерение параметров вибрации при подъеме и опускании. Это позволяет сделать предварительные выводы об исправности механизма. Уровень фактических значений параметров вибрации определяется не только состоянием механизма, но и скоростью подъема, весом груза, положением тележки и жесткостью главных балок.

По результатам контроля значений общего уровня вибрации и изменению технического состояния механизма подъема для ло-

кализации и обнаружения неисправностей выполняется спектральный анализ, позволяющий отслеживать изменение амплитуды составляющих вибрации. Конструктивные особенности редуктора механизма подъёма — значительная масса, низкие частоты вращения, высокая жёсткость корпуса — являются причиной увеличения значений общего уровня вибрации на последних, предаварийных стадиях развития повреждений.

Это было подтверждено в результате трехлетних наблюдений за измерением технического состояния механизма подъёма завалочного крана. Изменение спектральной

картины виброускорения редуктора (рис. 2) стало предвестником разрушения подшипников быстроходного вала при низких значениях общего уровня вибрации. Признаком повреждения стала нестабильность частоты вращения, что проявилось в появлении большого количества составляющих малой амплитуды («белого шума») и модуляции гармоник зубцовых частот. Проведенная замена была подготовлена и осуществлена при следующей технологической остановке. Это указывает на необходимость контроля не только амплитудных значений, но и спектрального состава вибрации.

Значения параметров вибрации 13.04.  
(частотный диапазон 2...2000 Гц)

$S_{СКЗ}$ , МКМ	$V_{СКЗ}$ , ММ/С	$a_{СКЗ}$ , М/С <sup>2</sup>	$a_{ПИК}$ , М/С <sup>2</sup>
5	0,5	0,7	2,1
5	0,6	0,5	1,0

Значения параметров вибрации 12.05.  
(частотный диапазон 2...2000 Гц)

$S_{СКЗ}$ , МКМ	$V_{СКЗ}$ , ММ/С	$a_{СКЗ}$ , М/С <sup>2</sup>	$a_{ПИК}$ , М/С <sup>2</sup>
5	0,6	0,5	2,0
5	0,4	0,6	1,3

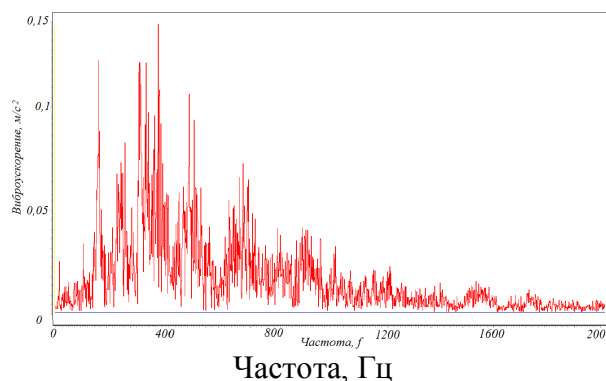
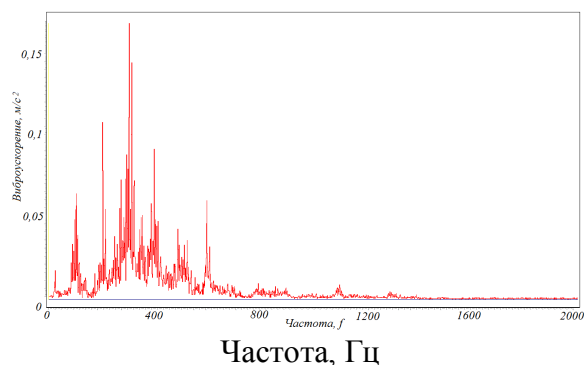


Рисунок 2 Изменение спектральной картины виброускорения перед разрушением подшипников быстроходного вала

Перспективным методом диагностирования механизма подъёма является запись временного сигнала вибрации при изменении направления вращения. Ограничивающими факторами в данном случае являются:

- ограниченность доступа к измерению параметров вибрации данного механизма;
- малое количество виброанализаторов, реализующих процесс записи вибрацион-

ного сигнала в режиме осциллографирования без усреднения;

- отсутствие критериев для распознавания фактического состояния механизмов при кратковременном реверсивном режиме работы.

Приборным решением является использование многоканальных виброизмерительных систем с параллельной записью вибрационного сигнала. Это позволяет за-

фиксировать один цикл работы, а не несколько, в случае последовательной записи. Возможность удалённого управления виброизмерительной аппаратуры позволяет рекомендовать данный способ для труднодоступных механизмов с постепенным развитием повреждений и периодическим диагностированием состояния.

*Металлургические машины* отличаются уникальностью и взаимодействием с продуктом технологии — расплавленным или раскалённым металлом. С позиции диагностирования особую сложность представляют:

- низкооборотистые тяжело нагруженные подшипники;

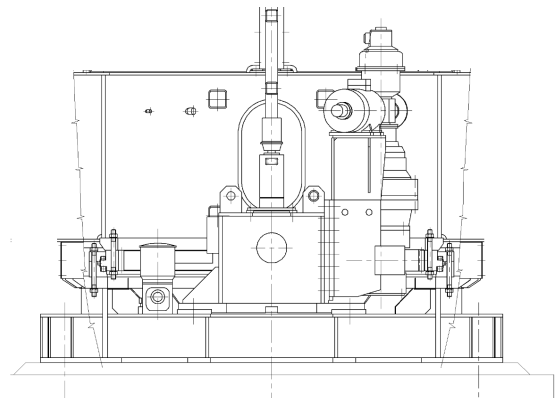
- комбинированные редукторы непрерывных прокатных станов;
- столы качания МНЛЗ и др.

К этим машинам не применимы общетехнические нормативы вибрации из-за большей массы и жёсткости, низких частот вращения, действия переменных нагрузок и различной частоты вращения.

Возможным вариантом решения при диагностировании низкооборотистых тяжело нагруженных подшипников, например, опорных колец стенов МНЛЗ (рис. 3), может быть анализ каскада спектров виброускорения (рис. 4). Необходимыми в данном случае являются ручная установка коэффициента усиления и запись реального сигнала без усреднения.

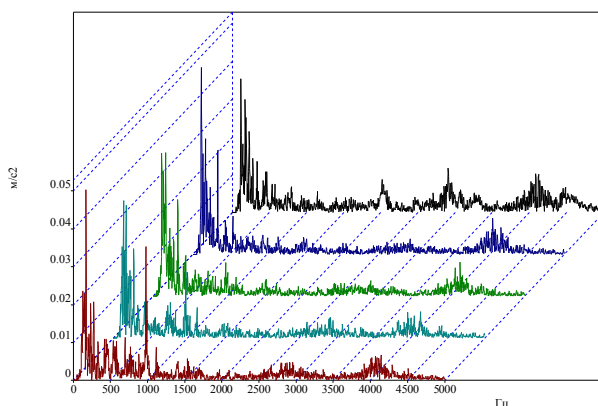


а)

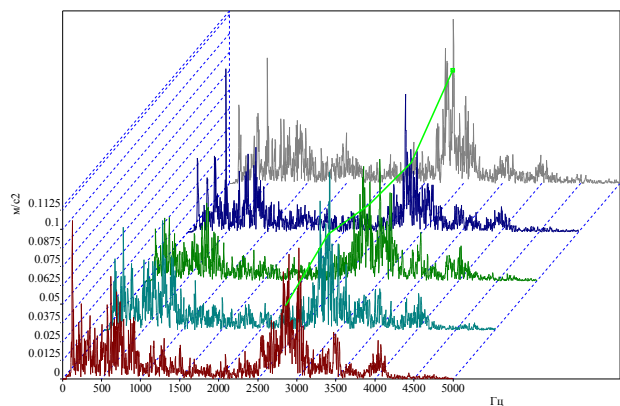


б)

Рисунок 3 Общий вид поворотного стенда (а) и схема привода (б)



а)



б)

Рисунок 4 Сравнение в каскаде спектров виброускорения опорного кольца:  
а) исправного; б) неисправного

Прокатное производство является завершающей фазой металлургического цикла, во многом определяя качество выпускаемой продукции и производительность металлургического предприятия. Наиболее ответственным оборудованием прокатного производства, во многом характеризующем его эффективность, является прокатный стан. Современный прокатный стан представляет собой сложную механическую систему, функционирующую в режиме тесного взаимодействия отдельных элементов. Непрерывная прокатка, реализуемая на сортовых прокатных станах, обеспечивает одновременную прокатку слитка в нескольких прокатных клетях, что требует высокого уровня автоматизации производства, контроля параметров проката и безотказной работы механического оборудования.

Основные принципы диагностирования роторных машин предполагают необходимость соблюдения стационарности работы исследуемого агрегата в моменты измерений, т. е. сбор информации о состоянии оборудования должен проводиться при неизменной нагрузке, частоте вращения и т. д. В силу особенностей технологического процесса на прокатном стане это условие не выполняется. Основными источниками нестационарности являются:

- периодичность процесса проката, при котором циклически чередуются режимы «прокатка» и «холостой ход», что приводит к скачкообразным изменениям вибрации в моменты захода заготовки в клеть и выхода из нее, изменению частоты вращения в эти моменты и появлению характер-

ных частот зубозацепления редуктора клетки в момент проката;

- разнообразие сортаментов проката, что подразумевает разные нагрузки и частоты вращения привода клетки в зависимости от изготавливаемой продукции.

Для решения диагностических задач на данном этапе необходимо использование стационарных систем с использованием комплекса диагностических параметров.

Система должна обеспечить текущий контроль и диагностирование технического состояния механизмов прокатных станов для предотвращения внезапных отказов и обеспечения целостности базовых и корпусных деталей и узлов механизмов. Важным является определение степени накопления повреждений при ударных процессах. Результаты контроля следует использовать для принятия решения об аварийной остановке и о необходимости проведения ремонта.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

Основными предпосылками эффективности и достоверности технического диагностирования механического оборудования можно назвать следующее:

1. Оборудование должно обладать технической возможностью и готовностью к диагностированию состояния.
2. Необходимы специалисты, имеющие опыт решения задачи технического диагностирования, соответствующее образование и квалификацию.
3. Необходима разработка новых научных положений, учитывающих специфику работы металлургических машин.

#### **Библиографический список**

1. Гольдин, А. С. *Вибрация роторных машин [Текст] / А. С. Гольдин.* — М. : Машиностроение, 2000. — 344 с.
2. Клюев, В. В. *Неразрушающий контроль : справочник в 7 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 7 в 2 кн.: Кн. 1: В. И. Иванов, И. Э. Власов. Метод акустической эмиссии; Кн. 2: Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова и др. Вибродиагностика [Текст].* — М. : Машиностроение, 2005. — 829 с.

3. Диагностика и динамика прокатных станов [Текст] / В. В. Веренев и др. — Днепропетровск : ИМА-прес., 2007. — 144 с.

4. Система мониторинга состояния оборудования Компакс® для колесно-прокатного стана [Текст] / В. Н. Костюков и др. // Сталь, 2008. — № 4. — С. 58–63.

5. 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.

© Сидоров В. А.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., д.т.н., проф., зав. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Еронько С. П.*

Статья поступила в редакцию 25.09.17.

**д.т.н. Сидоров В. А.** (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)

### **ВІБРАЦІЙНА ДІАГНОСТИКА МЕХАНІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

*У статті визначено деякі особливості вібраційної діагностики механічного обладнання металургійних підприємств, що передбачає можливість комплексного застосування засобів технічного діагностування: портативних приладів, аналізаторів вібрації, стаціонарних систем. Наведено результати технічного діагностування енергетичних, транспортних і металургійних машин. Встановлено основні передумови ефективності і достовірності технічного діагностування.*

**Ключові слова:** металургійне підприємство, механічне устаткування, технічне діагностування, параметри вібрації.

**Doctor of Tech. Sc. Sidorov V. A.** (DonNTU, Donetsk, DPR)

### **VIBRATION DIAGNOSTICS OF MECHANICAL EQUIPMENT OF IRON-AND-STEEL PLANTS**

*Some peculiarities of vibration diagnostics were determined for the mechanical equipment of iron-and steel plants supposing the opportunity of complex using technical diagnostic facilities like portable instruments, vibration analyzers, steady-state systems. There have been given the results of technical diagnostic for power, transport and metallurgical machines. The basic preconditions of efficiency and accuracy of technical diagnostics were determined.*

**Key words:** iron-and-steel plant, mechanical equipment, technical diagnostics, vibration parameters.