

УДК 669. 02 / . 09 : 658. 58.

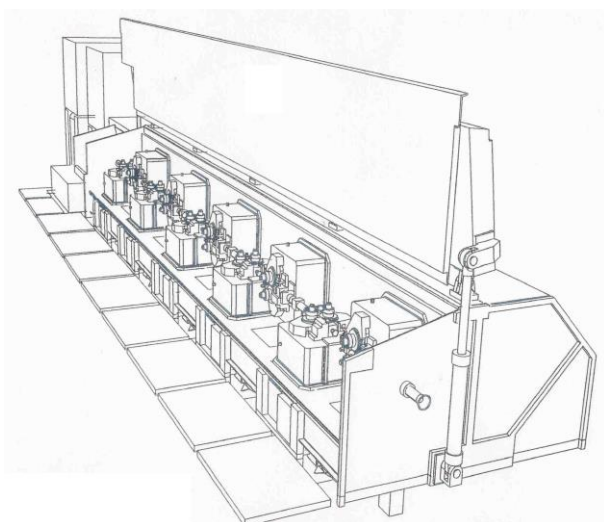
Сидоров В.А.

Сушко А.Е.

ПРАКТИКА ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕДУКТОРНЫХ КАССЕТ ЧИСТОВЫХ БЛОКОВ ПРОКАТНОГО СТАНА 150 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАЦИОНАРНОЙ СИСТЕМЫ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ

Объект исследования

С середины 90-х годов на металлургических предприятиях Украины в составе мелкосортных прокатных станов появились 10-ти клетьевые чистовые блоки, совмещающие горизонтальные и вертикальные клетки. Каждый такой блок включает два приводных двигателя, распределительный редуктор, 10 редукторных и 10 валковых кассет, из которых: 5 – горизонтальные, 5 – вертикальные (рисунок 1а). Редукторные кассеты (рисунок 1б) в данном механизме, используются как приводные элементы для валковых кассет – сменной технологической оснастки, обеспечивающей вращение прокатных шайб, регулировку их положения и собственно процесс прокатки с линейной скоростью до 100 м/с.



а)



б)

Рисунок 1 – Общий вид чистового блока проволочного стана (а) и редукторная кассета чистового блока (б)

Непосредственное участие механизмов чистового блока в технологическом процессе требует обеспечения высокой надёжности при их проектировании, изготовлении и эксплуатации. Постепенное накопление малых отклонений приводит к внезапным отказам, внеплановым остановкам и нарушению непрерывности технологического процесса. Наибольшая длительность простоев наблюдается при внезапных отказах подшипников редукторных кассет (рисунок 2).

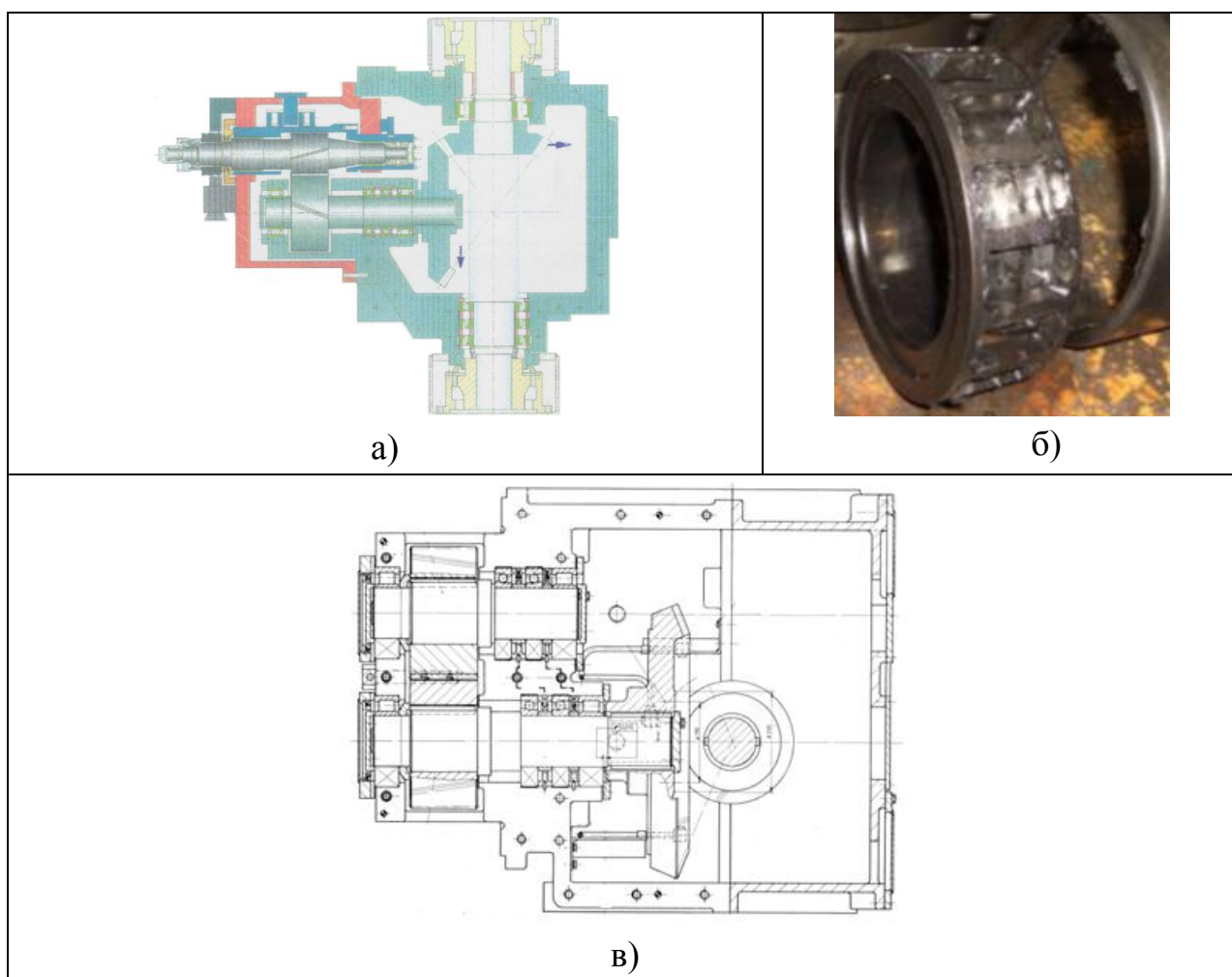


Рисунок 2 – Схема расположения редукторной и валковой кассет (а), характерный вид повреждений роликоподшипника (б), схема редукторной кассеты (в)

Формулировка проблемы

Как показывает практика, в большинстве случаев причиной отказа становится выход из строя подшипников приводных валов редукторных кассет. Повреждения этих узлов, как правило, связаны с нарушением режима смазывания и износом посадочных мест. Зафиксированы случаи разрушения валов, резьбовых соединений. Износ зубчатых передач незначителен и позволяет продолжать длительную эксплуатацию. Повреждения зубчатых

передач, обычно являются следствием разрушения расположенных рядом элементов.

Действительно, в ходе расследования причин повреждения радиально-упорных шарикоподшипников одного редукторного вала (рисунок 3) была выявлена недостаточная подача смазочного материала при превышении допустимой для данного типа подшипников частоты вращения. Основные признаки – цвета побежалости, вмятины от тел качения на беговой дорожке внутреннего кольца и следы схватывания второго рода при провороте внутреннего кольца.

В след за первичным развитием повреждения, происходившим постепенно до определённого уровня, было зафиксировано резкое изменение вибрационных составляющих, отображающих изменение физических процессов износа.



Рисунок 3 – Повреждения радиально-упорного шарикоподшипника из-за недостатка смазочного материала

Таким образом, для обеспечения надежной эксплуатации мелкосортных прокатных станов и непрерывности технологического процесса необходимо организовывать контроль текущего технического состояния его наиболее уязвимых узлов - подшипников редукторных кассет. Прямой доступ к узлам редукторных кассет во время прокатки отсутствует. Обследование на холостом ходу, при профилактике, с использованием переносных приборов, не позволяет своевременно обнаруживать развитие повреждений в рамках традиционного периодического мониторинга. Поставленная задача может быть решена только с использованием стационарной системы мониторинга и углубленного диагностирования по различным вибрационным параметрам.

Требования к системе

В настоящее время существует большое количество различных видов стационарных систем для организации контроля технического состояния роторных машин по различным параметрам вибрации. Однако специфика эксплуатации металлургического оборудования предъявляет крайне высокие требования к функциональным возможностям, техническим характеристикам и исполнению подобных систем. Кратко рассмотрим наиболее важные из этих требований.

1. Достоверная диагностика металлургических машин в условиях нестационарной работы (переменные нагрузки, изменяющийся сортамент) обеспечивается только использованием специализированных систем, учитывающих текущий технологический режим. Применение систем виброконтроля, устанавливаемых на насосном, тягодутьевом, компрессорном и другом роторном оборудовании со стационарными режимами работы - не допустимо.
2. Оценка технического состояния должна производиться на основе комплексного анализа изменения различных параметров вибрации в рамках выбранного технологического режима. Для этого система должна измерять, обрабатывать, а в ряде случаев и хранить в базе временные сигналы большой длины (до нескольких минут), а также фиксировать необходимые режимные параметры (частота вращения, ток, температура и пр.).
3. Частотный и динамический диапазон, а также спектральное разрешение измерительной части системы должны обеспечивать достоверное распознавание вибрационных составляющих на всех возможных частотах неисправностей. Практика показывает, что динамический диапазон должен быть не менее 120 дБ, частотный диапазон – от 2Гц до 20 кГц, а спектральное разрешение - не хуже 25600 линий.
4. Необходимость совместного анализа значительного количества параметров и оценки характера их изменения для каждого из диагностируемых узлов с учетом выбранного технологического режима требует использования адаптируемой и перенастраиваемой экспертной системы диагностики с возможностью пользовательской корректировки решающих правил.
5. Конструктивное исполнение отдельных элементов системы должно обеспечивать ее надежную эксплуатацию в условиях повышенной влажности, запыленности, сильных электромагнитных полей и пр.

Кроме того, для эффективной организации контроля текущего состояния основных узлов металлургических машин и выявления их неисправностей, стационарная система должна обеспечивать решение следующих задач.

1. Контроль и анализ текущих скалярных (полосовой общий уровень, пик-фактор, эксцесс) и векторных (спектры, спектры огибающей, временные сигналы и др.) значений вибрационных параметров.
2. Сигнализация о превышении заданных значений для различных параметров вибрации с учетом технологических режимов.
3. Распознавание спектрального состава вибрационного сигнала, характера возможных повреждений и определение трендов развития повреждений.
4. Поузловая оценка технического состояния контролируемых механизмов, определение времени и объемов требуемых ремонтных воздействий.
5. Накопление и анализ информации о содержании проведенных ремонтов, эффективности воздействий, периодичности замен элементов.
6. Диагностирование правильности функционирования стационарной системы и предупреждение о возможных неисправностях.

Техническое решение

Примером стационарной системы, удовлетворяющей перечисленным выше требованиям и обеспечивающей решение указанных задач, является стационарная система (комплекс) мониторинга и углубленной диагностики UMS (CMS) производства НПО «ДИАТЕХ».

Данный комплекс предназначен для мониторинга технического состояния и углубленной диагностики оборудования, работающего, в том числе на нестационарных режимах, по вибрации, температуре, току и другим технологическим параметрам. Комплекс представляет собой совокупность первичных преобразователей (датчиков), соединенных кабельными линиями с коммутирующими блоками. В зависимости от конструктивного исполнения агрегатов в составе комплекса могут быть использованы измерительные блоки на 16 параллельных каналов или на 64 параллельно-последовательных канала со встроенным 24-х разрядным АЦП, а также промежуточные (клеммные) коробки для совместного подключения нескольких первичных преобразователей.

Оцифрованные сигналы с измерительных блоков по Ethernet передаются на сервер. Сбор, обработка, отображение и запись всех

контролируемых параметров производится в автоматическом режиме при помощи специального программного обеспечения SAFE PLANT Server. При необходимости Комплекс может быть интегрирован в АСУ ТП или единую общезаводскую измерительную систему ЕАМ / ERP.

Первый полустационарный вариант системы на базе коммутирующих блоков МС-64 был смонтирован специалистами НПО «ДИАТЕХ» на черновой группе клеток трубопрокатного стана МПМ цеха ТПЦ-3 ОАО «Волжский трубный завод» в 2007 году (65 датчиков вибрации и 7 датчиков частоты вращения). Стационарный вариант системы был разработан по заказу ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» и запущен в промышленную эксплуатацию на среднесортном стане «390» в 2008 году. В составе системы были использованы датчики вибрации, температуры, частоты вращения. Система также получала информацию из АСУ ТП о наличии металла в клетки.

В результате этих работ функциональные возможности и технические характеристики системы были полностью адаптированы к специфике диагностирования металлургического оборудования (приводов и редукторов клеток), работающего в условиях переменных нагрузок: аппаратная часть переработана с учетом требуемого исполнения, а программное обеспечение дополнено модулями расширенного пользовательского анализа и экспертной диагностики с использованием адаптируемых и перенастраиваемых правил.

Пример практической реализации

По результатам промышленной эксплуатации на ОАО «ВТЗ» и ОАО «ММК» данная система была рекомендована для обеспечения безаварийной эксплуатации стана ПС-150-1, установленного на ПАО "АрселорМиттал Кривой Рог" в СПЦ-1. В качестве наиболее уязвимых механизмов, подлежащих оснащению, были выбраны редукторные кассеты чистовых проволочных блоков быстроходных клеток №27 и №28 правой и левой стороны. Основная цель установки стационарной системы - повышение долговечности и безотказности механизмов за счет своевременного выявления узлов, имеющих повышенную вибрацию, определения и устранения (путем проведения ремонтов) причин вызвавших вибрацию.

Структура установки стационарной системы на редукторные кассеты чистовых проволочных блоков клеток №27, 28 стана СП-150-1 приведена на рисунке 4. Основные комплектующие: датчики вибрации, датчики частоты вращения, приборные разъёмы, соединительные кабели, клеммные соединительные коробки, программное обеспечение верхнего уровня.

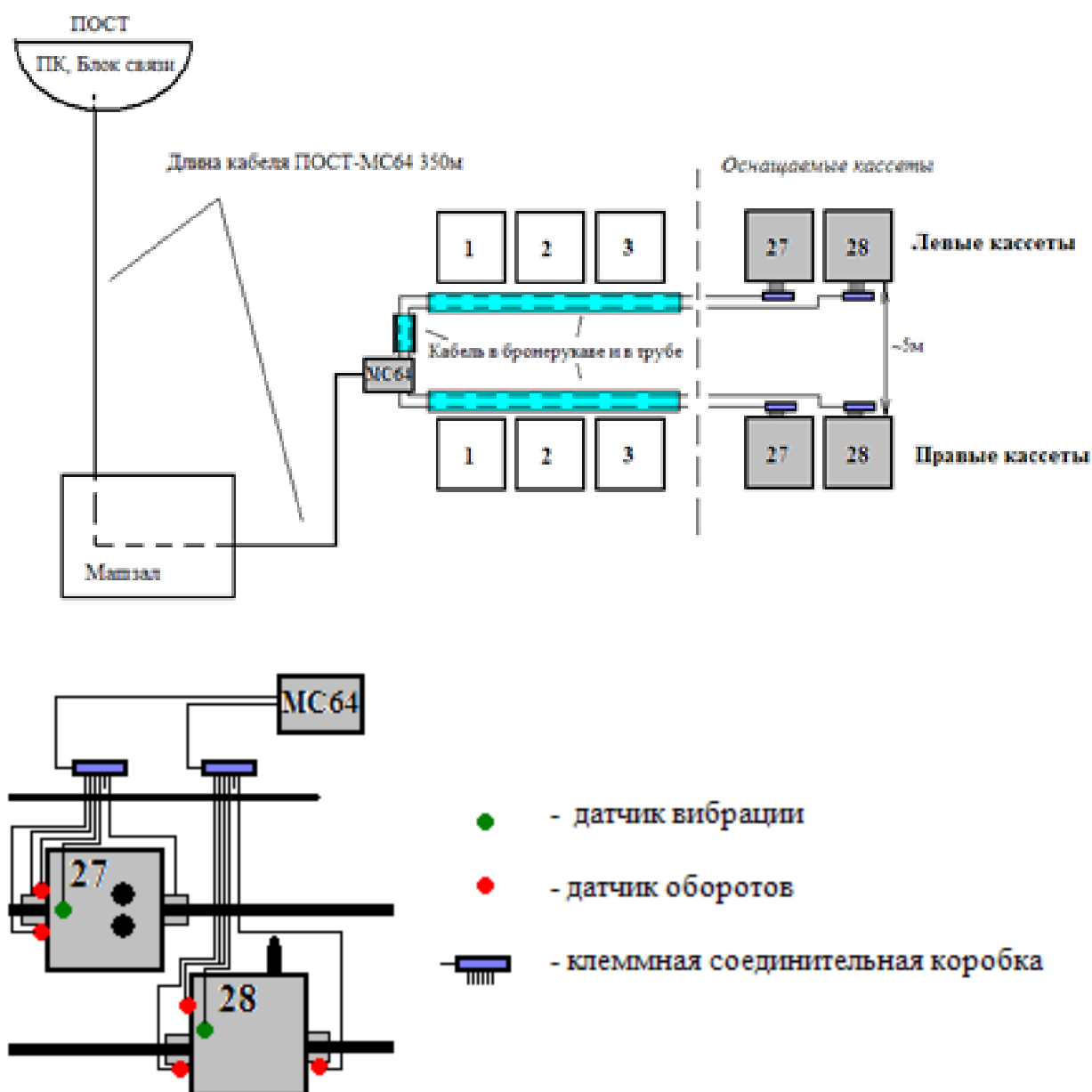


Рисунок 4 - Структура установки стационарной системы на редукторные кассеты чистовых проволочных блоков клеток №27, 28 стана СП-150-1

На каждую кассету было установлено 4 датчика вибрации с безразъёмными кабелями в металлорукавах и по 1 датчику частоты вращения. Кассета 27 расположена горизонтально, кассета 28 – вертикально (рисунок 5а). Кабели от датчиков вибрации и датчиков частоты вращения закреплены на корпусе кассеты, и имеют разъёмы, подключаемые к коробкам. Во время ремонта разъёмы отсоединяются от коробок. Демонтаж датчиков, при необходимости, производится в ремонтном цехе. Датчики вибрации крепятся на корпус кассеты в местах ребер жесткости (рисунок 5б,в). Датчик частоты вращения находится внутри корпуса (рисунок 5г).



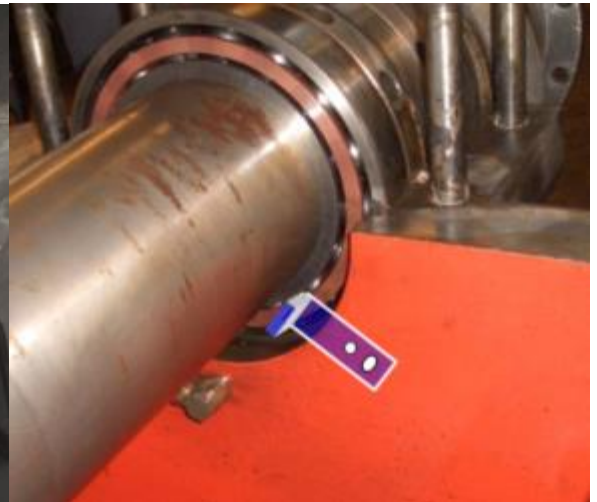
а)



б)



в)



г)

Рисунок 5 - Расположение редукторных кассет (а), точек контроля вибрации - приводная сторона (б), холостая сторона (в); установка датчика частоты вращения (г)

Трудности при монтаже

Не смотря на значительный опыт работ по монтажу стационарных систем в энергетике, нефтехимии и металлургии во время настройки данного комплекса были обнаружены и устранены:

- электрические наводки от приводных двигателей;
- негерметичность разъемов и металлоулова отметчиков и датчиков вибрации.

Во время демонтажа датчиков и кабелей наблюдалось сильное воздействие коррозии на коммутирующие элементы (рисунок 6).

Силуминовые разъемы сильно корродировали вследствие взаимодействия сплава алюминия с приборным разъёмом из нержавеющей стали при воздействии промышленной воды.

Металлорукав покрывался светло-серым налетом с включениями продуктов коррозии стального подслоя (рисунок 6). Слой гидроксида цинка (светло-серый), образующийся при разрушении цинкового покрытия ($H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$; $Zn - 2e^- \rightarrow Zn^{2+}$; $Zn^{2+} + 2OH^- \rightarrow Zn(OH)_2$) и фрагментов коррозии основного металла. Коррозия происходила в результате воздействия технической воды на металлорукав. Металлорукав становился жестким и ломким, что объяснялось воздействием коррозии на поверхность стали с цинковым покрытием - происходило образование порошковидных соединений цинка и железа. Этому способствовало образование окисных пленок, появившихся в результате коррозии цинкового покрытия и стальной основы (гидроксида цинка $Zn(OH)_2$, гидрата закиси железа $Fe(OH)_2$ и т.д.). При поступлении кислорода к гидрату закиси железа образовывался нерастворимый в воде гидрат окиси железа $Fe(OH)_3$, покрывающий поверхность металла рыхлым осадком, и происходило разрушение металла.



Рисунок 6 – Коррозия коммутрующих элементов

В приборном разъеме (рисунок 6) к отметчику (находился на корпусе кассеты) присутствовал большой слой ржавчины, который являлся проводником и исключал возможность получения сигнала с отметчика. Это происходило в результате проникновения технической воды в негерметичный разъем через стыки звеньев металлоурукова и выхода из строя силуминовой гайки разъема.

Данные неисправности в течение двух месяцев пробной эксплуатации были обнаружены и устранены, что обеспечило в дальнейшем надёжную и эффективную работу системы.

В процессе установки системы вибромониторинга на кассетах №27, 28 прокатного стана ПС150-1, также было обнаружено наличие электрического переменного потенциала гармонического характера с частотами, кратными 73...80 Гц на кабелях датчиков вибрации. Наличие влияния электрических наводок на подшипники подтверждалось и опытом эксплуатации. Блуждающие токи между кольцами и валом пагубно влияли на работу подшипников, приводя к повреждениям на телах качения. Для выяснения причин наводок от электродвигателя на кассеты была сформирована комиссия из специалистов подрядчика и ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

По итогам работы комиссии было установлено, что переменный потенциал регистрируется системой, переносным виброанализатором и осциллографом. Данный потенциал наводится через ротор одного из приводных электродвигателей чистового блока. Характерно постепенное увеличение уровня потенциала в течение 8 часов исходя из тренда общего уровня СКЗ виброскорости, регистрируемого системой виброконтроля. Предпринятые специалистами ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и подрядчиком меры позволили минимизировать влияние воздействия переменного потенциала на датчики системы.

Результаты эксплуатации

Стационарный комплекс был введен в промышленную эксплуатацию на кассетах чистовых блоков проволочного стана ПС-150-1 в конце 2010 года. До настоящего времени система не вызвала нареканий и прекрасно зарекомендовала себя при оценке технического состояния кассет и выявления скрытых дефектов. Контроль состояния оборудования при помощи системы осуществляется мастером кассетной мастерской на главном посту стана и диагностами отдела диагностики центрального департамента по содержанию и ремонтам (ЦДСР) по линиям модемной связи – рисунок 7. Периодически, при устойчивом повышении уровня вибрации, по рекомендациям вибродиагностов ЦДСР, цеховой механослужбой планово производится осмотр и проверка зазоров в подшипниках.

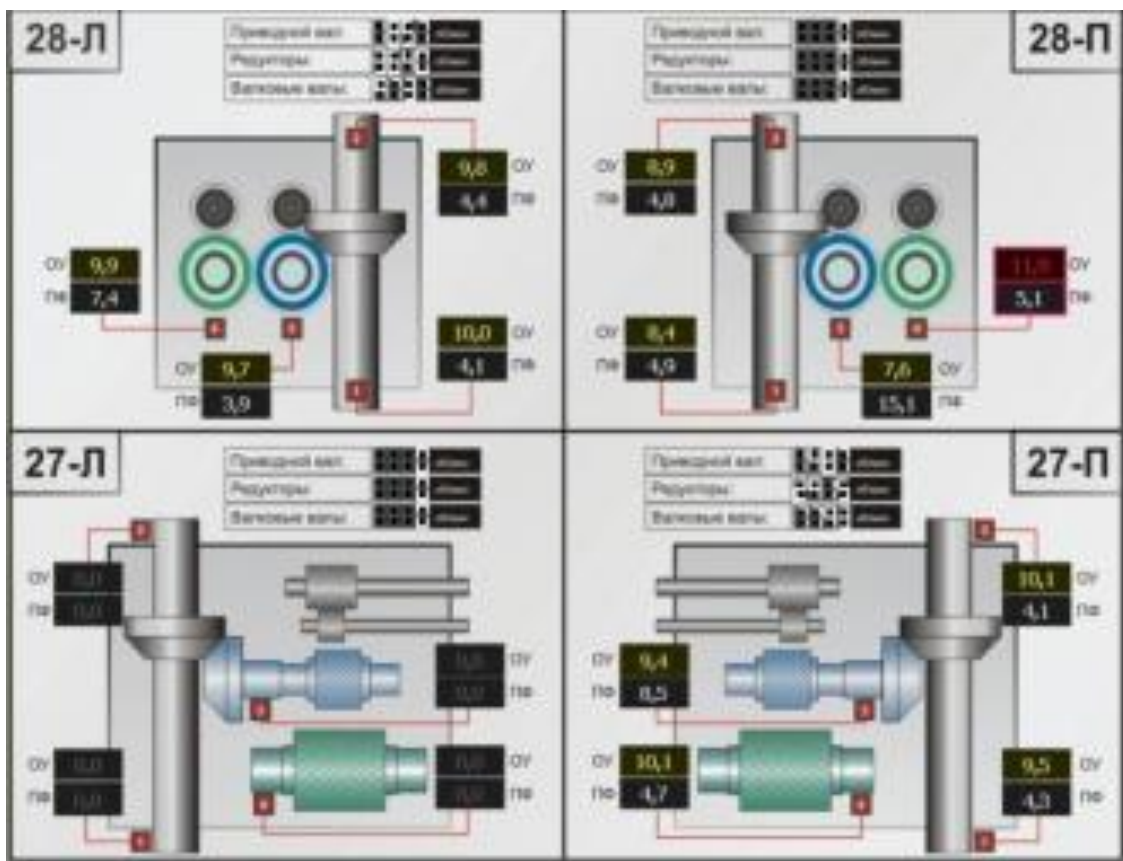


Рисунок 7 – Экран оператора системы

Анализ работы комплекса по итогам трех лет эксплуатации показал, что данная система может быть использована, как эффективное и надежное решение, которое обеспечивает безаварийное функционирование подконтрольного оборудования. За время работы системы, с ее помощью, при деятельном участии вибродиагностов ЦДСР и ремонтного персонала цеха было выявлено и оперативно устранено несколько скрытых дефектов, способных привести к длительным простоям. Полученный экономический эффект от своевременного обнаружения неисправностей многократно превысил затраты на закупку и монтаж системы. Ниже представлен один из случаев выявления дефекта.

В конце 2011 г. был зафиксирован резкий рост общего уровня вибрации на кассете 28П, тренд изменения значений виброскорости приведен на рисунке 8.

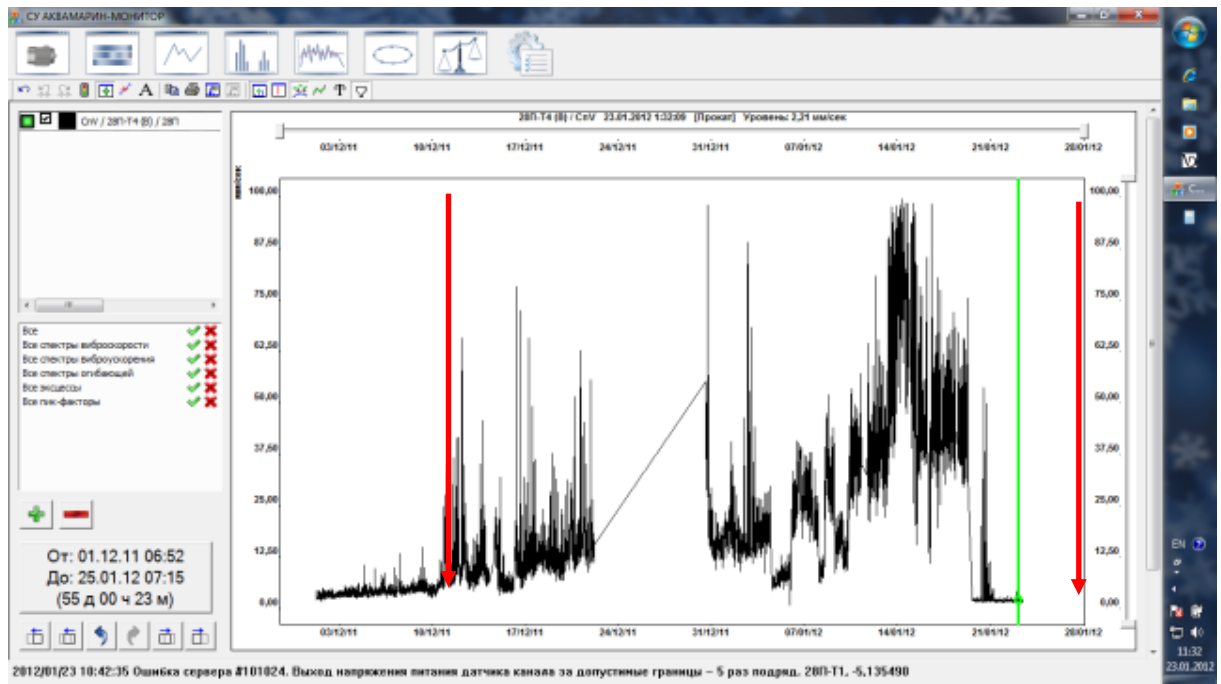


Рисунок 8 – Изменение параметров виброскорости при развитии повреждения

Проверки масляных фильтров и зазоров в подшипниках при остановках на ППР ничего не показали. В последующий ППР было обнаружено и устранено ослабление крепление торцевой крышки конической шестерни. Но так как уровень вибрации продолжал расти, то в один из последующих ППР было принято решение о замене кассеты на резервную. При вскрытии было обнаружено разрушение полиамидного сепаратора одного из подшипников и износ внутреннего кольца второго подшипника. Износ сепаратора подшипника опоры №4 и внутреннего кольца подшипника NU2224E - опоры №3 редукторной кассеты 28П, обнаруженные с помощью стационарной системы на ПС-150-1 в период декабрь 2011 - январь 2012 г., приведены на рисунке 9.



Рисунок 9 – Повреждения подшипников редукторной кассеты,

Дальнейшая работа кассеты привела бы к ее аварийному выходу из строя. Своевременное обнаружение повреждений подшипников на ранней стадии, взаимодействие службы диагностирования и ремонтной службы цеха позволило исключить возникновение аварии. Анализ причин повреждений был использован для разработки мероприятий по повышению надёжности подшипниковых узлов механизма.

Последующее развитие

Существующее программное обеспечение, поставляемое в составе комплекса, позволяет реализовать многочисленные функции визуализации вибрационных параметров. В тоже время основной целью внедрения системы вибрационного контроля должно быть повышение долговечности и безотказности эксплуатируемого оборудования прокатных станов за счет своевременного получения и использования информации о текущем состоянии, определения и устранения причин, вызвавших вибрацию, путем проведения ремонтов. Для этого проводится организация целенаправленных действий - выполняется диагностирование механизмов, обобщение, анализ и дальнейшее принятие решения по эффективной эксплуатации металлургического оборудования.

Отсюда следует вывод о необходимости тесной работы специалистов службы диагностирования, использующих данные стационарных систем вибрационного контроля, с ремонтной службой участка, цеха, предприятия, как основного потребителя информации о техническом состоянии.

Выводы

1. Применение стационарных систем мониторинга и углубленной диагностики по вибрации и другим технологическим параметрам обеспечивает безаварийную работу прокатного оборудования и своевременное выявление возникающих неисправностей.
2. Функциональные возможности и технические характеристики используемых систем должны быть адаптированы для диагностики металлургических машин с учетом особенностей их эксплуатации. Применение общепромышленных систем - недопустимо.
3. Программное обеспечение систем должно обеспечивать анализ результатов измерений в автоматическом режиме с использованием адаптируемых перенастраиваемых правил диагностирования.
4. Ввиду сложных условий эксплуатации систем, аппаратная часть должна иметь надежное исполнение, а организация, выполняющая

шеф-монтаж, - необходимый опыт, хорошее оснащение и высокую квалификацию персонала.

5. Практика эксплуатации стационарного комплекса мониторинга и углубленной диагностики на стане ПС-150-1 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» показала его высокую надёжность и информативность. Также была отмечена подготовленность специалистов предприятия к работе со стационарной системой и высокая эффективность операций по обеспечению безаварийной работы чистовых клетей проволочного стана, предпринятых ремонтной службой.

Список литературы:

1. Ключев В.В. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В. Ключев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др.; Под общ. Ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672с., ил.
2. Сушко А.Е. Методология внедрения аппаратно-программных средств мониторинга технического состояния и диагностики прокатных станов по различным параметрам вибрации // Сталь. 2011. №5 С. 60 – 65.
3. Сушко А.Е. Вибродиагностика в системах технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования металлургических производств / А.Е. Сушко, М.А. Демин. Вибрация машин: измерение снижение защита. 2005. №1 – С. 6- 9.
4. Тараканов В.М. Системы непрерывного контроля по вибрационным параметрам // В.М. Тараканов, О.Б. Скворцов, А.Е. Сушко. Вибрация машин: измерение снижение защита. 2006. №3 С. 48- 54.
5. Сушко А.Е. Методология внедрения аппаратно-программных средств мониторинга технического состояния и диагностики прокатных станов // Металлург. 2010. №6 С. 49 – 54.
6. Сидоров В.А., Сушко А.Е. Выбор диагностических параметров стационарных систем контроля технического состояния металлургических машин // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. Ежеквартальный научно-технический и производственный журнал. №4, 2010 г., С. 46 – 50.
7. Сушко А.Е. Практические аспекты внедрения методов и средств вибрационной диагностики прокатных станов // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2010. №3 С. 20 – 26.
8. Сушко А.Е. Повышение экономической эффективности металлургического производства за счет комплексного внедрения методов и средств вибрационной диагностики // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2010. №4 С. 43 – 47.
9. Сидоров В.А., Сушко А.Е. Выбор диагностических параметров для стационарных систем контроля технического состояния

- металлургических машин // Контроль. Диагностика. 2011. №1 С. 56 – 62.
10. Сушко А.Е. Методология внедрения аппаратно-программных средств мониторинга технического состояния и диагностики прокатных станов по различным параметрам вибрации // Сталь. 2011. №5 С. 60 – 65.
 11. Сушко А.Е. Организация диагностирования технологического оборудования на предприятиях черной металлургии // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2011. №4 С. 39 – 50.
 12. Сушко А.Е., Демин М.А. Особенности внедрения экспертных систем автоматизированной диагностики // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2011. №4 С. 51 – 55.
 13. Сушко А.Е. Организация распределенного мониторинга технического состояния роторного оборудования на предприятиях черной металлургии // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2012. №4 С. 30 – 36.
 14. Сушко А.Е. Подходы к организации технического диагностирования на современном металлургическом производстве // Бюллетень научно-технической и экономической информации "Черная металлургия". 2013. №2 С. 91-98.