

ПРАКТИКА РЕАЛИЗАЦИИ СТАЦИОНАРНОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКСА «КОРУНД»

В. А. СИДОРОВ¹, А. Е. СУШКО², Е. М. ДЕМИН³

¹Донецкий нац. техн. ун-т. 83000, г. Донецк, ул. Артема, 58. E-mail: info@dgtu.donetsk.ua

²ООО «ДИАМЕХ 2000». 115432, г. Москва, 2-й Кожуховский проезд, 29. E-mail: diamech@diamech.ru

³ГП «ДИАМЕХ-Украина». 61105, г. Харьков, ул. Киргизская, 19АБК-1. E-mail: diamech@vlink.kharkov.ua

Рассмотрен пример реализации стационарной системы вибродиагностики «КОРУНД» для комбинированных редукторов и проводных двигателей среднесортного прокатного стана 390. Предлагаемое решение учитывает особенности диагностики прокатных станков и предполагает поэтапное внедрение и использование комплекса диагностических параметров для постановки диагноза. Основная задача – повышение долговечности и безотказности эксплуатируемого оборудования прокатного стана – достигается за счет своевременного выявления механизмов, имеющих повышенную вибрацию, определения и устранения (путем проведения ремонтов) неисправностей. Система обеспечивает текущий контроль и диагностирование технического состояния механизмов для предотвращения внезапных отказов и обеспечения целостности корпусных деталей и узлов механизмов. Библиогр. 12, рис. 9.

Ключевые слова: стационарная система вибродиагностики, прокатное оборудование, комплекс «КОРУНД»

Прокатное производство является завершающей фазой металлургического цикла, во многом определяющей качество выпускаемой продукции и производительность металлургического предприятия. Наиболее ответственным оборудованием прокатного производства, 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.

Непрерывный сортовой одностаночный стан 390 состоит из 18 рабочих клеток с индивидуальным приводом, в том числе восьми горизонтальных, четырех вертикальных и шести комбинированных клеток. Клетки установлены последовательно в три группы (черновую, промежуточную и чистовую) – по шесть клеток в каждой. Нагрев исходных заготовок сечением 150×150 и 125×125 мм длиной до 12 м осуществляется в нагревательной печи с водоохлаждаемыми балками с боковой подачей и боковой выгрузкой заготовок с помощью внутрипечных роликов. Стан оборудован холодильником, линиями для регулируемого охлаждения и термоупрочнения готового проката, механизированным участком отделки в потоке.

Максимальная скорость прокатки на стане 18 м/с, расчетная рабочая – от 2,3 до 17 м/с в зависимости от прокатываемого профилеразмера. Стан оснащен автоматизированными системами регулирования и управления режимами прокатки и работой технологических агрегатов, механизмов и устройств, а также промышленными телекамерами обзора невидимых оператору зон и участков технологической линии, мониторы которых установлены на соответствующих постах управления. Прокатка на стане осуществляется с минимальным натяжением в черновой и промежуточной группах клеток и с петлерегулированием в чистовой группе.

Основным конструкторским решением, используемым на среднесортном прокатном стане 390, являются комбинированные клетки, проводящие прокатку в горизонтальных или вертикальных валах, что позволяет выпускать широкий сортамент продукции и быстро осуществлять перестройку режимов. В состав рабочей линии комбинированной клетки входят: прокатная клетка; комбинированный с шестеренной клетью коническо-цилиндрический редуктор (рис. 1), оснащенный механизмом переключения; приводной электродвигатель. Мощность привода прокатной клетки 880 кВт, частота вращения входного вала 300...1000 об/мин, частота вращения выходных валов 10...1000 об/мин.

Фактически стан работает в автоматическом режиме с минимальными плановыми остановками для восстановления работоспособного состояния. Знание фактического состояния механизмов в данном случае необходимо для достижения за-

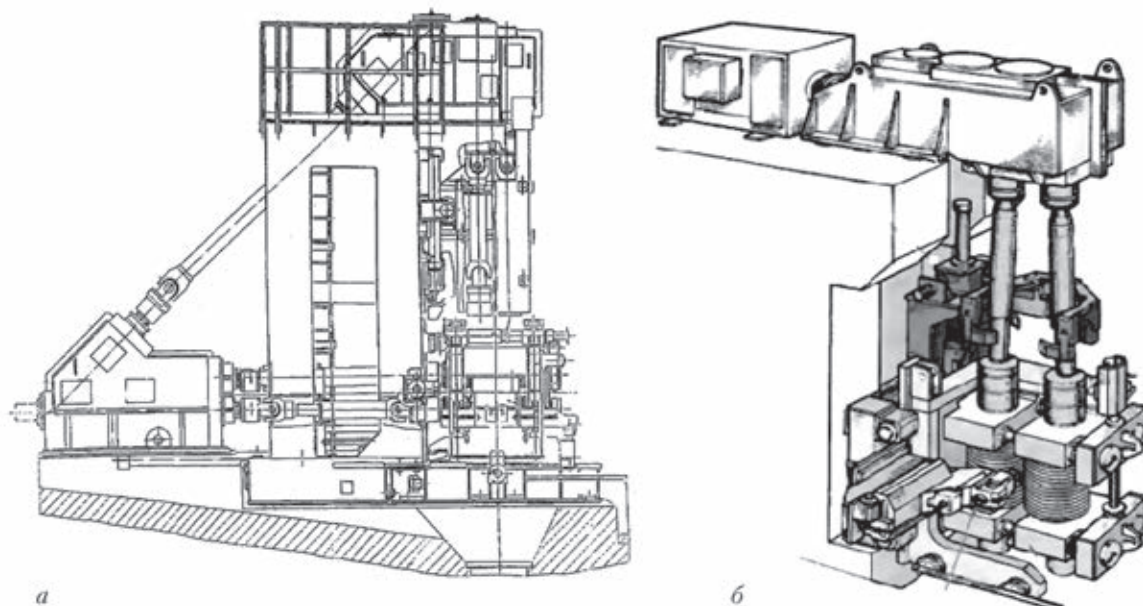


Рис. 1. Общий вид привода валков прокатной клетки: а – вертикальных или горизонтальных чистовой группы; б – вертикальных черновой группы

данных технологических параметров и длительного сохранения работоспособного состояния оборудования. Конструкция комбинированных редукторов (рис. 2) ограничивает доступ к некоторым узлам механизма для определения их технического состояния. Высокая скорость развития повреждений, необходимость согласования выбранных технологических режимов с техническим состоянием редуктора определяют необходимость постоянного контроля вибрационных параметров. Состав контролируемого оборудования – это машины и механизмы, непосредственно участвующие в технологическом процессе, отказ которых вызывает остановку стана. Прокатные клетки: черновой группы (клетки 1...6), промежуточная группа клеток (клетки 7...12), чистовая группа клеток (клетки 13...18).

Оценка состояния механического оборудования в настоящее время в большей степени проводится по значениям вибрационных параметров. Известными решениями является использование стационарных систем, разработанных для роторных машин, работающих в длительном режиме. Основные принципы диагностирования ротор-

ных машин приведены в работах [1–3 и др.], где указывается на 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 [4–8]:

- периодичность процесса проката, при котором циклически чередуются режимы «прокат» и «холостой ход», что приводит к скачкообразным изменениям вибрации в моменты захода заготовки в клетку и выхода из нее, изменению частоты вращения в эти моменты и появлению характерных частот зубозацепления редуктора клетки в момент проката;

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

Высокая степень автоматизации, насыщенность механическим оборудованием требует изменения подходов к обеспечению эксплуатационной надежности механического оборудования современных прокатных станов. Безотказная работа комплекса металлургических машин в данном случае не может быть обеспечена традиционными методами периодических осмотров и диагностирования. Необходимо использование стационарных систем диагностирования с использованием комплекса диагностических параметров. Оценка технического состояния металлургического оборудования, работающего при неопределенном нестационарном нагружении, не может проводиться

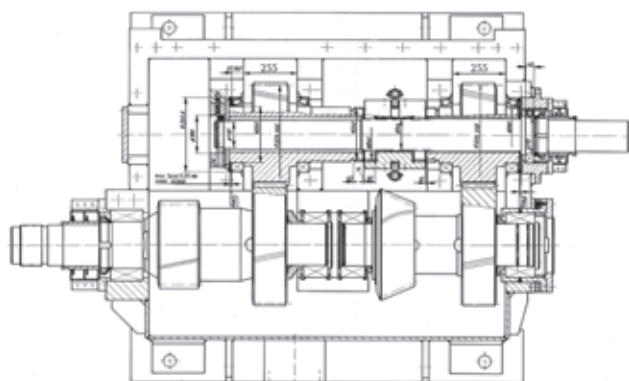


Рис. 2. Комбинированный редуктор привода вертикальных валков прокатной клетки среднесортного прокатного стана



методами, применяемыми на роторных машинах, работающими в длительном режиме.

Предлагаемое ООО «ДИАМЕХ 2000» решение на основе системы «КОРУНД» (рис. 3) учитывает особенности диагностики прокатных станов и предполагает поэтапное внедрение и использование комплекса диагностических параметров для постановки диагноза. Цель разрабатываемой системы – повышение долговечности и безотказности эксплуатируемого оборудования прокатных станов за счет своевременного выявления механизмов, имеющих повышенную вибрацию, определения и устранения (путем проведения ремонтов) неисправностей.

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. Результаты контроля должны использоваться для принятия решения об аварийной остановке и о необходимости проведения ремонта механизмов.

Решаемые задачи:

- контроль и сигнализация о превышении заданных значений (параметров вибрации, температуры и др.);
- использование для контроля технического состояния токовых характеристик и частоты вращения валов приводных двигателей;
- анализ текущих значений вибрационных параметров, распознавание спектрального состава вибрационного сигнала, характера возможных

повреждений и определение трендов развития повреждений;

- анализ временной реализации вибрационного сигнала и определение степени накопления повреждений при ударных процессах;
- оценка технического состояния контролируемых механизмов, определение времени и объемов ремонтных воздействий;
- накопление и анализ информации о содержании проведенных ремонтов, эффективности воздействий, периодичности замен элементов;
- диагностирование правильности функционирования стационарной системы и предупреждение о возможных неисправностях.

Особенности металлургического производства накладывают жесткие требования к надежности стационарной системы вибродиагностики из-за необходимости работы оборудования в условиях повышенной влажности, запыленности, высоких температур, ударных нагрузок и существенных электромагнитных полей. Поэтому необходима последовательная адаптация устанавливаемой системы к условиям технологического процесса и, как следствие, поэтапное внедрение комплекса.

Предложено три этапа внедрения стационарной системы контроля состояния привода прокатных клетей стана 390 на основе комплекса «КОРУНД».

1. Установка виброаппаратуры, обеспечивающей получение сигналов от первичных преобразователей вибрации о значениях механических

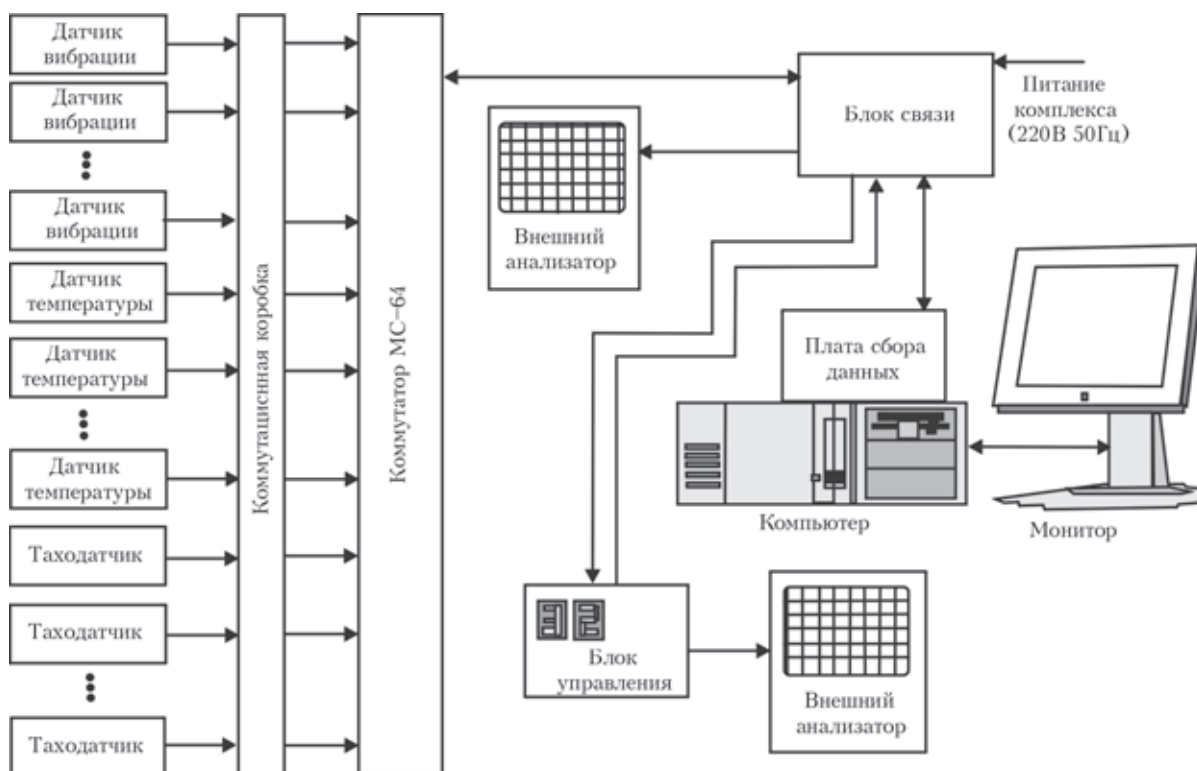


Рис. 3. Структурная схема расширенного варианта системы «КОРУНД»

параметров, их обработку, хранение и предоставление конечному пользователю в удобном виде.

2. Интеграция в АСУТП, позволяющая расширить диагностические возможности за счет мониторинга таких величин, как ток и частота вращения привода, температура подшипников, наличие заготовки в клети.

3. Внедрение программного обеспечения автоматизированной диагностики стана, которая на

основании полученных ранее данных сообщает о вероятности развития дефектов и осуществляет диагностику по техническому состоянию.

В состав оборудования первого этапа комплекса входят (рис. 4):

- первичные преобразователи (датчики АС-104), рассчитанные на работу в условиях прокатного производства;
- блоки коммутации (МС-64), обеспечивающие последовательный опрос большого количества (до 64 вибрационных) измерительных каналов;
- блок связи (БС), собирающий и обрабатывающий сигналы с блоков коммутации;
- сервер «КОРУНД», предназначенный для хранения данных и максимально удобного их отображения для конечного пользователя.

Внедрение стационарной системы вибродиагностики охватывает все необходимые точки контроля на прокатном стане и позволяет собрать данные измерений для оценки технического состояния и принятия решения о продолжении эксплуатации или выводе оборудования в ремонт (рис. 5). Для контроля при помощи стационарной системы выбраны следующие машины: привод прокатных клетей – 18 двигателей и 25 комбинированных редукторов, 5 ножиц горячей и холодной резки. На каждом редукторе установлено по три датчика в вертикальном, горизонтальном и осевом направлениях. На двигателях – в радиальном направлении на каждом подшипнике (рис. 6).

В процессе монтажа системы успешно были решены задачи по установке большого количества датчиков вибрации, в том числе в труднодоступных местах, и коммутирующих блоков, а также прокладке кабельных трасс. Ранее многие точки были практически недоступны для проведения измерений при использовании переносных приборов по соображениям безопасности оператора (наличие раскаленной заготовки, в непосредствен-

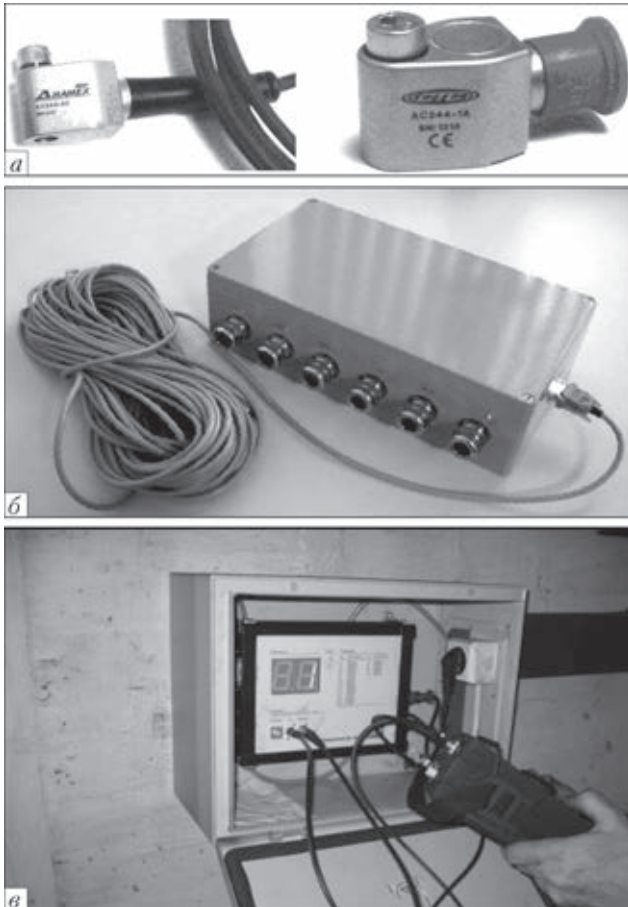


Рис. 4. Основные аппаратные блоки системы «КОРУНД»: а – датчики вибрации; б – коммутирующий блок (МС-64); в – блок связи

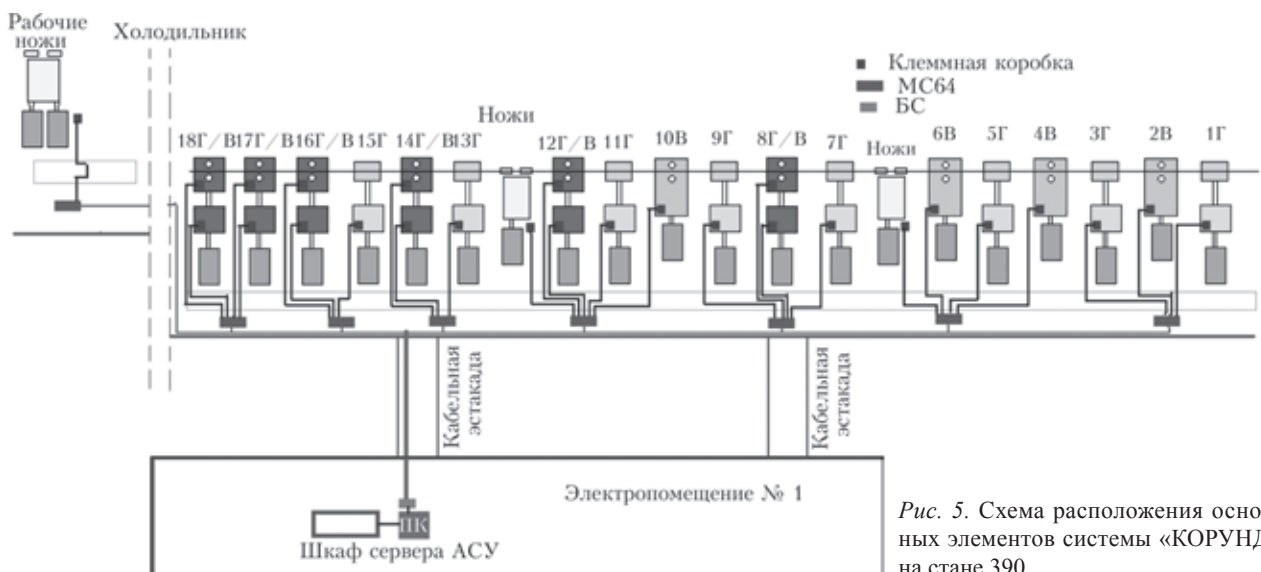


Рис. 5. Схема расположения основных элементов системы «КОРУНД» на стане 390

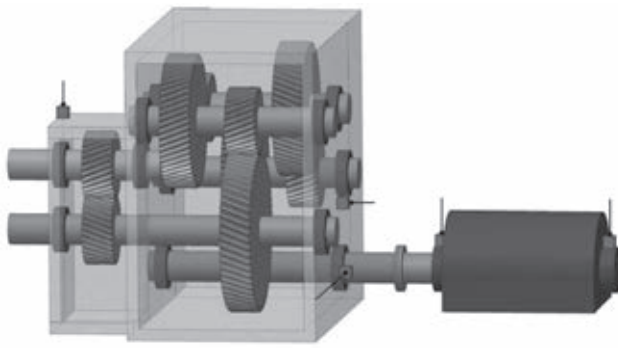


Рис. 6. Расположение датчиков вибрации на двигателе и редукторе привода прокатной клети

ной близости вращающихся шпинделей, водяные пары охлаждения валков и т. д.). Установленные в системе «КОРУНД» первичные преобразователи постоянно подвергаются ударным нагрузкам, воздействию пыли, влаги, высоких температур. Для обеспечения безотказности и надежной работы системы выбраны пыле- и влагозащищенные датчики АС104-1А, выдерживающие высокие ударные нагрузки и температуру до 120 °С.

Для своевременного информирования персонала АСУ о вибрационном состоянии стана, а также для максимального устранения воздействий технологического процесса серверная часть и блок связи комплекса «КОРУНД» установлены в помещении оперативного персонала. В связи с этим длина кабельных линий связи достигает 680 м, что приводит к повышению уровней помех (особенно «сетевой» помехи 50 Гц), потерям пакетов данных.

Эта задача решена путем подключения модулей гальванической развязки ГРА-2 производства ООО «ДИАМЕХ 2000», стабилизирующих входные сигналы датчиков. В то же время блоки коммутации МС-64 должны быть расположены максимально близко к первичным преобразователям, т. е. в условиях сильной запыленности и повышенной (до 80 %) влажности. В связи с этим корпуса МС-64 выполнены в пылезащищенном исполнении (степень защиты оболочки IP65).

Многолетний опыт вибрационной диагностики прокатного оборудования показывает, что процессы усталостного износа ответственных узлов агрегатов протекают весьма медленно [9]. Принимая это во внимание, а также необходимость контроля большого количества точек, оптимальным решением для комплекса вибрационной диагностики прокатного стана является последовательный опрос каналов. Такой подход, в свою очередь, требует высокой точности коммутационного оборудования и надежности его программного обеспечения.

В комплексе «КОРУНД» это реализовано путем циклического программного переключения опрашиваемых каналов из блока связи с после-

дующей цифровой и математической обработкой получаемых данных на сервере. Использование современных технических решений позволяет сократить период опроса одного канала до 12 с, сводя к минимуму вероятность пропуска скачкообразного повышения вибрации.

Программное обеспечение комплекса «КОРУНД», установленное на первом этапе, предлагает удобный интерфейс пользователя, предоставляющий всю необходимую информацию об уровнях и составе вибрации в точках контроля (рис. 7, 8). Комплекс интегрирован в заводскую сеть, что позволяет осуществлять удаленный мониторинг работы прокатного стана.

Второй этап внедрения комплекса «КОРУНД» на стане 390 включает разработку принципов взаимодействия с заводской АСУТП, а именно, получение из нее данных измерений статистических величин, их обработку в программном обеспечении, наложение трендов вибрации на токовые и температурные тренды, разграничение режимов проката и вывод предупреждающих и аварийных сигналов в систему управления прокатным станом.

Важными диагностическими параметрами являются частота вращения и токовые характеристики приводного двигателя. Так, например, прекращение подачи смазочного материала к узлам комбинированного редуктора привода верти-

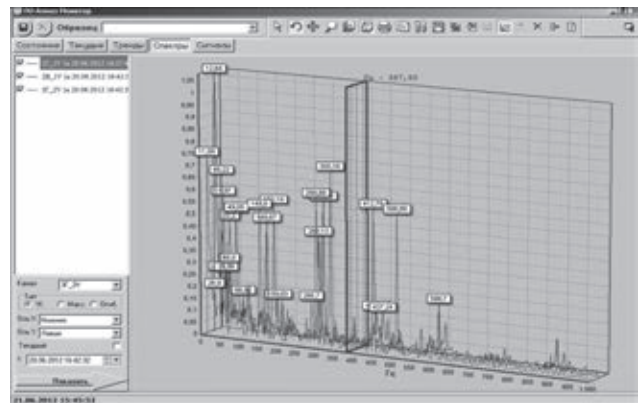


Рис. 7. Пример отображения спектра в ПО комплекса «КОРУНД»



Рис. 8. Общая схема стана в ПО комплекса «КОРУНД»

кальных валков прокатной клетки сортового стана (рис. 2) привело к внеплановой остановке стана. По результатам анализа токовых характеристик и графиков частоты вращения в развитии повреждения отмечены два периода: период устойчивой часовой работы (рис. 9, а) и период развития повреждения (рис. 9, б). Возникновение первого периода обусловлено наличием масляной пленки на поверхности контактирующих деталей. Развитие повреждения происходило быстро, в течение трех минут и привело к разрушению зубьев конической передачи из-за смещения валов при износе подшипников.

Результатом заключительного, третьего этапа внедрения комплекса должна стать автоматизированная система вибродиагностики, способная на основании заложенных экспертных правил анализировать совокупность скалярных данных, тренды и спектральный состав вибрации и выдавать заключения о состоянии оборудования и прогнозировать развитие повреждений.

Для составления экспертных правил необходимо накопление замеров вибрации узлов стана с учетом различных режимов работы (при разном сортаменте, в условиях рабочего холостого хода), данных, полученных из АСУТП, и архива работы ремонтной службы. Сведения о проведенных

ремонтах, их эффективности, характерных неисправностях и причинах износа также должны использоваться при построении диагностических правил. Учитывая конструктивную сложность прокатного оборудования, разнообразие прокатных станов и режимов работы, важным требованием к программной части системы является возможность адаптации ее экспертного модуля к конструктивным и технологическим особенностям диагностируемого оборудования – наличие экспертной системы открытого типа [8].

Основными предпосылками эффективности и достоверности технического диагностирования оборудования и технологического процесса можно назвать следующее [10, 11]:

- оборудование и технологический процесс должны иметь техническую возможность и готовность к диагностированию состояния;
- необходимы специалисты, которые имели бы опыт решения задачи технического диагностирования, соответствующее образование и квалификацию;
- необходима разработка новых научных положений, которые бы определяли что, как и когда диагностировать.

Классификация систем технической диагностики, проведенная с учетом главных выполняемых функций, изложенных в работах [11, 12], позволяет выделить следующие уровни диагностических систем.

Отображение состояния – обнаружение отклонений в работе механизмов по признакам, которые определяются органами чувств человека.

Контроль и защита – измерение контролируемого параметра, сравнение его с заданной (нормативной) величиной и защитное отключение оборудования при достижении нормативной величины.

Управление техническим состоянием по фактическим характеристикам контролируемых параметров оборудования и технологического процесса во времени.

Прогнозирование – идентификация и управление явлениями, предшествующими появлению диагностических признаков развитых повреждений.

Оптимизация – управление работой оборудования и технологическим процессом по диагностическим признакам.

В настоящее время реализация диагностической системы «КОРУНД» относительно оборудования стана 390 имеет 2-й уровень, выполняя функции контроля, а при необходимости защиты. Создание алгоритмов управления по диагностическим параметрам оборудования в настоящее время является актуальнейшей задачей современности. Возможности системы (разработка экспертного модуля и соответствующего программ-

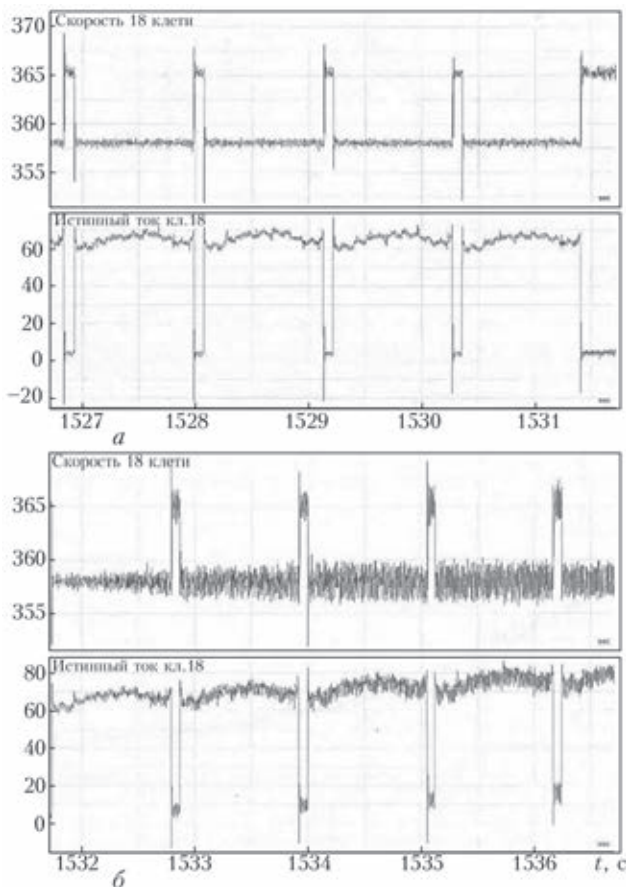


Рис. 9. Изменение токовых параметров и частоты вращения двигателя привода прокатной клетки: а – при номинальном режиме; б – при развитии повреждения



ного обеспечения) позволяют выполнить развитие системы (на той же элементной базе) до 3-го и далее до 4-го уровня, что предполагается реализовать на последующих этапах внедрения в соответствии с требованиями заказчика.

1. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 344 с.
2. Вибродиагностика / Г. Ш. Розенберг, Е. З. Мадорский, Е. С. Голуб и др. / Под ред. Г. Ш. Розенберга. – СПб: ПЭИПК, 2003. – 284 с.
3. Ширман А. Р., Соловьев А. Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. – М.: Машиностроение, 1996. – 276 с.
4. 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.
5. Гайгемюллер Г., Клаппорт У., Лейтриц У. Диагностика агрегатов в прокатных цехах // Черные металлы. – 1996. – № 12. – С. 48–50.
6. Мекел Дж., Геронт В., Аш. А. Применение компьютеризированных систем наблюдения и диагностики на прокатных станах // Черные металлы. – 1999. – № 12. – С. 53–60.
7. Сушко А. Е., Демин М. А. Вибродиагностика в системах технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования металлургических производств // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2005. – № 1. – С. 6–9.
8. Радчик И. И., Рябков В. М., Сушко А. Е. Комплексный подход к вопросам надежности работы основного и вспомогательного оборудования современного металлургического производства // Оборудование. Технический альманах. – 2006. – № 1. – С. 24–28.
9. Тараканов В. М., Скворцов О. Б., Сушко А. Е. Системы непрерывного контроля по вибрационным параметрам // Вибрация машин: измерение снижение защита. – 2006. – № 3. – С. 48–54.
10. Технические средства диагностирования: Справочник / В. В. Клюев, П. П. Пархоменко, В. Е. Абрамчук и др. / Под ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
11. Ницета В. В., Сидоров В. А. Класифікація вібростем. // Нафтова та газова промисловість. – Київ, 2009. – № 1. – С. 47–50.
12. Ницета В. В. Системы автоматизированного управления – классификация и применение // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2009. – № 4. – С. 36–41.

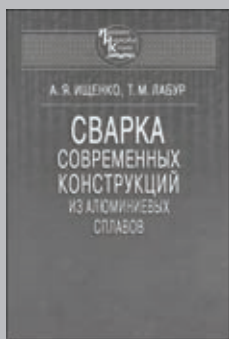
The paper deals with an example of realization of a stationary vibrodiagnostics system «KORUND» for combined reduction gears and drive motors of medium-section rolling mill 390. The proposed solution allows for the features of rolling mill diagnostics and involves step-by-step introduction and application of a set of diagnostic parameters for diagnosing. Main objective of improvement of fatigue life and reliability of operated mill equipment is achieved at the expense of timely detection of mechanisms with higher vibration, detection and elimination of faults (by conducting repair). System ensures monitoring and diagnosis of technical condition of mechanisms to prevent sudden failures and ensure the integrity of casing parts and mechanisms. References 12, Figures 9.

Keywords: stationary vibrodiagnostic system, rolling equipment. «KORUND» complex

Поступила в редакцию
27.09.2013

НОВАЯ КНИГА

Ищенко А. Я., Лабур Т. М. Сварка современных конструкций из алюминиевых сплавов.
– Киев: Наук. думка, 2013. – 416 с.



В монографии рассмотрены системы легирования алюминиевых сплавов, классификация полуфабрикатов и сварочных материалов, а также их структура и свойства. Представлены сведения об основных способах сварки плавлением и в твердой фазе.

Приведены результаты изучения процесса разупрочнения металла при сварочном нагреве, а также информация о свойствах сварных соединений при действии статических и циклических нагрузок, характере разрушения и коррозионной стойкости.

Для научных работников, инженеров металлообрабатывающих и машиностроительных предприятий, применяющих алюминиевые сплавы, а также преподавателей и студентов высших учебных заведений соответствующих специальностей.