

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

№ 2 (1058), февраль 2020 г. Издается с 1961 г.

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения



<h1>Черные металлы</h1>	Издательский дом «Руда и Металлы»
№ 2 (1058), февраль 2020 г.	Издается с 1961 г.

**Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения**

Учредители:		
Акционерное общество «Издательский дом «Руда и Металлы»	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»	Федеральное бюджетное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова»
При участии:		
ПАО «ММК» ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК» Государственного Эрмитажа Журнала «Stahl und Eisen»	Официальный информационный орган Федерального УМО «Технологии материалов»	

Редакционный совет:
Председатель редакционного совета: О. Н. Сосковец Главный редактор: В. М. Колокольцев Первый зам. главного редактора: К. Л. Косырев Зам. главного редактора: А. Г. Воробьев, Е. В. Цирульников А. М. Беленький, В. Блек (Германия), О. И. Борискин, Р. М. Валеев, Е. П. Волынкина, А. В. Выдрин, С. П. Галкин, Е. А. Голи-Оглу (Дания), Я. М. Гордон (Канада), В. Я. Дашевский, Д. Г. Еланский, Н. А. Зюбан, В. П. Иващенко, И. Е. Илларионов, Л. М. Капуткина, А. А. Казаков, А. П. Коликов, А. Г. Корчунов, А. В. Кушнарв, И. О. Леушин, И. П. Мазур, Ю. Ю. Пиотровский, А. Н. Савенок, А. Я. Стомахин, И. А. Султангузин, С. С. Ткаченко, А. Я. Травянов, Н. А. Чиченев, М. В. Чукин, П. Шеллер (Германия), А. А. Юсупходжаев
Редакция:
Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников Ответственный секретарь: Е. Ю. Рахманова Редактор Г. Е. Форысенкова Набор: Л. М. Чичерина Перевод: А. Л. Алексашин, Ю. А. Платонов, В. А. Цирульников Ответственный за предпечатную подготовку издания: И. В. Воловик

Издатель – АО «Издательский дом «Руда и Металлы» Адрес издателя: 119049, Москва, Ленинский просп., 6, стр. 2, МИСиС, оф. 622 Адрес редакции: • фактический: 119049, Москва, Ленинский проспект 6, стр. 2, МИСиС, оф. 617 • почтовый: 119049, Москва, а/я № 71 Телефон/факс: (495) 955-01-75 Эл. почта: chermet@rudmet.ru, tsirulnikov@rudmet.ru www.rudmet.ru	Ежемесячный научно-технический и производственный журнал по актуальным проблемам металлургии и машиностроения «Черные металлы» № 2 (1058) февраль 2020 г. Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Свидетельство ПИ № ФС77-48681 от 28.02.2012 г.) Товарный знак и название «Черные металлы» являются исключительной собственностью Издательского дома «Руда и Металлы» Отпечатано с предоставленных готовых файлов в типографии «Канцлер» 150044, Россия, Ярославль, ул. Полушкина Роща, 16. стр. 66А. Тел. (4852) 58-76-33. Дата выхода в свет: 28.02.2020. Формат 60×90/8. Печ. л. 10,5. Офсетная печать. Бумага офсетная. Тираж 1000 экз. Цена свободная	За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции При перепечатке ссылка на «Черные металлы» обязательна «Реклама» – материал публикуется на правах рекламы Публикуемые материалы не обязательно отражают точку зрения редакции и редсовета журнала Подписные индексы: 92650 («Роспечать») 12985 («Пресса России»)
--	---	---



СОДЕРЖАНИЕ

Производство стали и литейное производство

- Ф. Хилле, А. Редениус. Технология SALCOS для плавного обезуглероживания стали. 4
- Х.-П. Юнг, Д. Лёйверинк, У. Графе, М. Хёниг, У. Плоцинник, М. Райффершайд. Моделирование технологической цепочки производства клапанной стали 10
- Г. Ю. Боярко, Б. Н. Матвеев. Материально-сырьевая база ферросплавов и особенности развития их производства в России. Часть 2. Микролегирующие ферросплавы. 15
- Т. Р. Гильманшина, И. Е. Илларионов, Н. С. Перфильева, Е. Н. Жирков. Исследование зависимости свойств противоположных покрытий от режима механоактивации графитов 21

Прокатка и другие процессы ОМД

- Н. Н. Гугис. Основные тенденции развития производства проката, труб и метизов в 2017–2019 гг. Часть 2. Производство труб, металлоторговля и стандартизация. 26
- А. П. Коликов, Д. Ю. Звонарев, И. М. Таупек. Моделирование напряженно-деформированного состояния металла при пластическом формоизменении листовой заготовки и сварке труб большого диаметра. Сообщение 1 33
- С. В. Самусев, В. А. Фадеев. Исследование контактного взаимодействия полосы с рабочими валками при непрерывной формовке сварных труб в линии ТЭСА 41
- В. Ф. Петрова, А. А. Гусева. Исследование влияния микроструктуры стали 13ХФА на ударную вязкость толстостенных бесшовных труб 47
- Н. А. Бабайлов, Ю. Н. Логинов, Л. И. Полянский. Определение приведенного угла захвата при валковом брикетировании мелкодисперсных материалов 52

Металлургическое оборудование

- Н. А. Чиченев, В. С. Шкитов. Реинжиниринг привода вентилятора электросталеплавильного цеха АО «Уральская сталь» 57
- А. В. Баглай, В. В. Воробьев, А. Н. Гузеев, М. М. Кипин. Система вибродиагностики для оборудования прокатного производства 62

Кадровая политика

- Д. Кудернач. Стратегия мотивации сотрудников должна быть последовательной. 70
- М. Шварц. Мотивация сотрудников — важный фактор развития компании. 81
- Новости черной металлургии** 84

Из истории металлургии

- К. В. Туманова, В. Ю. Бажин, О. А. Дубовиков, А. В. Сундуков, В. Г. Поваров. Исследование грузинского булатного оружия XIX в. из коллекции Горного музея Горного университета 73

Хроника

- Уральской стали — 65 лет. I–IV
- Г. С. Гун 83

Журнал «Черные металлы» по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в **Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук» по металлургии**

Журнал «Черные металлы» включен в Международную базу данных Chemical Abstracts Service

Журнал «Черные металлы» включен в **Международную базу данных Scopus, I квартал (2018)** (по версии SCIMAGO)

Журнал «Черные металлы» входит в состав базы **Russian Science Citation Index (RSCI)** на платформе **Web of Science**

СИСТЕМА ВИБРОДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А. В. БАГЛАЙ, В. В. ВОРОБЬЕВ, А. Н. ГУЗЕЕВ, М. М. КИПИН*

Разработанная система вибродиагностики «Корунд» обеспечивает постоянный контроль технического состояния прокатного оборудования. Реализация теории динамических процессов в данной системе стала возможной благодаря использованию оригинальных алгоритмов измерений и анализа, учитывающих комплексную информацию о текущем техническом состоянии, циклах технологического процесса и особенностях нагружения прокатного оборудования. Основой идеологии системы является методика, предусматривающая диагностирование технического состояния по данным измерений в переходных режимах работы клетки, в основном при захвате металла валками. При этом диагностику выполняют как в процессе прокатки металла, так и в режиме холостого хода. Комплексный подход к организации измерений и анализа вибрационных сигналов в программе позволяет определить вид дефекта, степень его развития и рассчитать эксплуатационный ресурс узлов механизма. С учетом специфики производства и вида обнаруженного дефекта система формирует отчет для обслуживающего персонала, в котором предложены меры по оптимизации режимов работы, планированию объема и периодичности ремонтов или технического обслуживания прокатного оборудования. В режиме реального времени система автономно осуществляет необходимые действия по защите оборудования с сигнализацией о превышении допустимых уровней контролируемых параметров. Система «Корунд» взаимодействует с базами данных SQL и Oracle. Структура программного обеспечения имеет открытую архитектуру и может быть скорректирована соответственно конкретной технологической задаче.

Ключевые слова: система контроля, прокатное оборудование, клеть, стан, вибрационная диагностика, защитный мониторинг, эксплуатационный ресурс, техническое обслуживание.

Введение

Рост объема производства и потребления проката черной металлургии ведет к необходимости решения задач, связанных с интенсификацией прокатного производства на основе внедрения эффективных энерго- и ресурсосберегающих технологий, обеспечения минимизации затрат при производстве проката и контроля качества сортамента. Современные прокатные станы оснащены сложными системами автоматизации, работающими по заданным программам и алгоритмам, реагирующими на сигналы датчиков и систем в режиме онлайн, контролирующими заданные показатели качества. Прокатка металла происходит в условиях изменения скорости, обжатий металла, межклетевых натяжений, при больших нагрузках и активном воздействии на процесс всех систем автоматического управления и регулирования его параметров с целью достижения и соблюдения заданных производственных условий. Перечисленные факторы приводят к возникновению вибраций и колебаний во всех узлах

механического и электрического оборудования станков, что отражается как на стойкости оборудования к поломкам, электромеханических систем — к отказам, так и на качестве прокатываемого металла. Параметры переходных процессов в момент захвата полосы валками с учетом технологии и режимов работы обладают существенной информативностью [1]. На основании контроля вибрационных параметров решают актуальные задачи, относящиеся к техническому состоянию прокатного оборудования.

Рассматривая прокатные машины как механические системы, следует уделить внимание выбору диагностических параметров, набор которых позволяет осуществлять непрерывный контроль технического состояния. В качестве исходных данных используют: временной сигнал, параметры вибрации, температуру и результаты визуального осмотра [2]. Для распознавания неисправностей используют временную и спектральную форму вибрационных сигналов, для оценки энергии вибрации — виброскорость ($V_{скз}$, диапазон 2–1000 Гц, СКЗ — среднеквадратическое значение параметра в заданном диапазоне частот); для контроля высокочастотных компонент, возбуждаемых микроударами, — виброускорение ($A_{скз}$, диапазон 2–10000 Гц). Дополнительные диапазоны информативных частот виброускорения (2–1000 Гц, 1–5 кГц, 5–10 кГц) предназначены для контроля зон возможных неисправностей (дефектов). Определение технического состояния механизма осуществляют с учетом закономерностей развития повреждений в режиме холостого хода и в режиме прокатки [3].

*ДП «Диамех-Украина», Харьков, Украина:

А. В. Баглай, директор;

М. М. Кипин, специалист по вибрационному анализу машин III;

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, Кременчуг, Украина:

докт. техн. наук В. В. Воробьев, профессор кафедры технологии машиностроения;

ООО «Диамех 2000», Москва, Россия:

А. Н. Гузеев, главный инженер;

эл. почта: kipin@diamech.ru

© Баглай А. В., Воробьев В. В., Гузеев А. Н., Кипин М. М., 2020

Для анализа свойств сил трения и ударных импульсов, характерных для нестационарных процессов, применен спектр огибающей, позволяющий контролировать медленные изменения мощности сигнала относительно быстрых процессов [4]. Наличие переходных процессов в прокатном оборудовании (захват, установившийся режим, выброс заготовки) требует учета комбинированных зависимостей внешних воздействий и реакций клетки. В решающих правилах используют сведения о скорости вращения и токовой нагрузке электродвигателя, вибрационные параметры — виброскорость, виброускорение, пик-фактор, эксцесс, параметры температуры. Разработанную систему можно отнести к категории экспертных программ, предназначенных для поддержки принятия решения. Рекомендации, выдаваемые эксплуатационному персоналу, сформированы на основе объективной информации и позволяют заблаговременно планировать объем и периодичность ремонтных работ.

Цель работы

Для эффективного решения задачи мониторинга технического состояния оборудования многоклетевых станов необходимо:

- определить информативные параметры и оптимальные точки контроля вибрации;
- установить характер вибропереходных процессов;
- выявить и разработать информативные признаки, наиболее тесно связанные с зазорами;
- разработать правила определения вида дефектов и степени их развития;
- предложить перечень рекомендаций по ремонтному воздействию или техническому обслуживанию оборудования;
- для работы системы в автономном режиме реализовать алгоритмы автоматических измерений, анализа и выдачи рекомендаций как для конкретного узла, так и для клетки в целом.

Описание исследования

В 2016 г. на непрерывном широкополосном стане тонкого листа НТЛС-1680 ОАО «Запорожсталь» и прокатном стане сортового и арматурного профиля А/С 400/215 ООО «НЛМК—Калуга» была установлена система вибрационной диагностики (СВД) «Корунд», разработанная ООО «Диамех 2000».

Система вибродиагностики предназначена для мониторинга технического состояния и автоматической

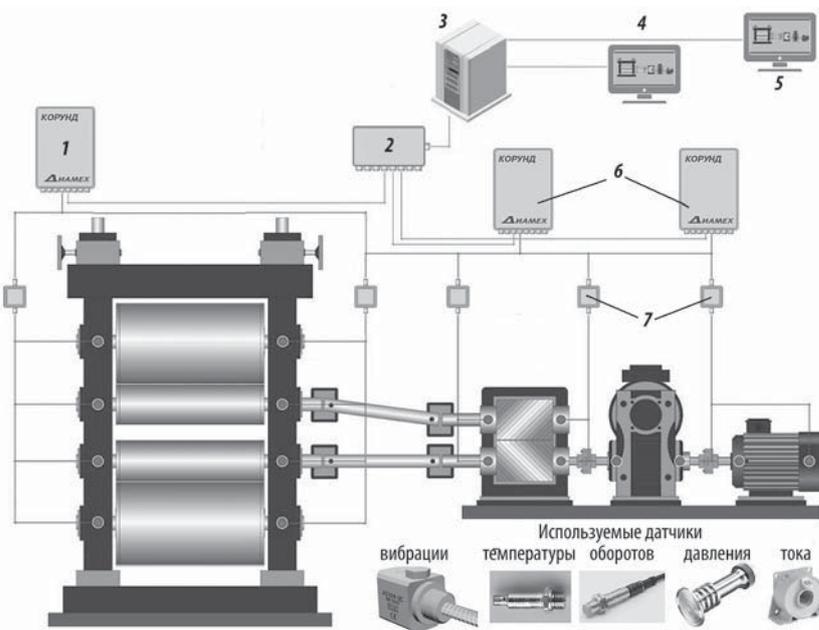


Рис. 1. Структура СВД «Корунд»:

- 1, 6 — измерительные блоки; 2 — магистральный коммутатор;
- 3 — серверная стойка; 4, 5 — удаленные рабочие места;
- 7 — клеммная коробка

диагностики клетей по вибрации, температуре, току и другим технологическим параметрам и представляет собой совокупность первичных преобразователей, соединенных кабельными линиями с блоком связи и далее с серверным рабочим местом оператора. Данные от первичных преобразователей поступают на измерительные блоки для первичной обработки, конвертации и передачи по стандартному протоколу TCP на серверное рабочее место. Сбор, математическую обработку, отображение и хранение производят на серверном автоматизированном рабочем месте (АРМ) оператора с помощью программного обеспечения сборщика данных (рис. 1).

Система непрерывного мониторинга прокатного оборудования обеспечивает наблюдение за техническим состоянием механизмов в режиме реального времени. Автоматическая диагностика агрегатов осуществляется с интервалом времени меньшим, чем период развития возможных неисправностей. В защитном мониторинге оборудования используются предельные пороговые значения вибрации, установленные на основе анализа инцидентов, произошедших на конкретных агрегатах. Данный подход обеспечивает своевременное обнаружение неисправностей, отслеживание их развития и оперативное оповещение обслуживающего персонала о необходимости проведения ремонтных мероприятий.

Программное обеспечение СВД представляет собой комплекс программных средств, работающий во взаимодействии с аппаратным модулем СМ-8, предназначенным для оперативной оценки технического состояния оборудования и выявления вероятных дефектов и неисправностей в процессе эксплуатации.

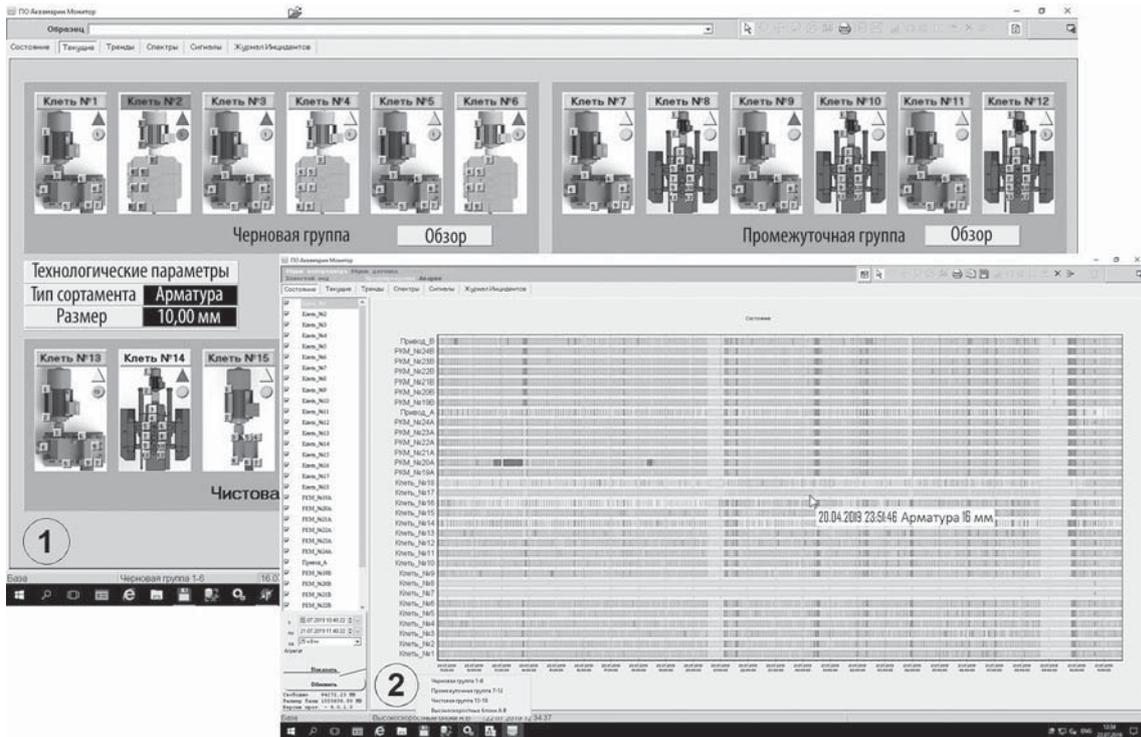


Рис. 2. Закладки «Текущие» и «Состояние» (вид с экрана монитора)

Система диагностирования работает в автоматическом («Сервер АРМ») и интерактивном (диалог с оператором — «Диагностика АРМ») режимах. Диалог с системой осуществляется через систему меню.

Программное меню содержит следующие закладки: «Состояние», «Текущие», «Тренды», «Спектры», «Сигналы», «Журнал инцидентов».

Закладка «Текущие» при запуске программы открывается по умолчанию и визуализирует вибрационное состояние всех клетей стана по виброскорости одновременно в текущий момент времени, а также тип прокатываемого сортамента (рис. 2, окно 1). Световая сигнализация отображается по виброскорости: на транспаранте-идентификаторе клетки (или кассеты) и отдельно по каждому каналу, в соответствии с уставками согласно стандарту. В круге представлены зоны технического состояния защитного мониторинга, допустимые значения которых определены по результатам реальных инцидентов на клетях в период пусконаладочных работ. Результат автоматической диагностики с определением ресурса отображается треугольником, при этом желтый цвет соответствует среднему ресурсу, красный цвет — низкому ресурсу. При расчете ресурса учитывают базовый (номинальный) расчетный ресурс и текущую наработку подшипника в часах, величину вибропараметра, степень развития дефекта и режим работы клетки.

Закладка «Состояние» (см. рис. 2, окно 2) визуализирует вибрационное состояние по виброскорости (2–1000 Гц, мм/с, СКЗ) всех клетей стана одновременно по группам или по всему стану за выбранный произвольный интервал времени: час, сутки, месяц [5]. Световая сигнализация указывает на наличие от-

клонений (желтый, красный) по уровню вибрации на конкретной клетке стана в определенный период времени. Голубым цветом отмечены клетки, исключенные из технологического процесса в зависимости от типа прокатываемого сортамента, либо клетки, находящиеся в ремонте или на техническом обслуживании. Указатель курсора при выборе конкретной клетки выводит дополнительную информацию: дату и время события, тип сортамента и его геометрические размеры в миллиметрах.

Выбор группы осуществляют нажатием кнопки «Обзор» в соответствующем окне: черновая, промежуточная, чистовая, высокоскоростной блок (рис. 3, окно 1). Текущие данные представлены как световой сигнализацией, так и сводными таблицами по клетям выбранной группы (виброскорость, виброускорение, пик-фактор, эксцесс, общий уровень виброускорения в полосах), таблицей допустимых значений, типом проката и режимом работы: прокат/холостой ход [6]. В режиме реального времени отображается текущая скорость вращения работающих электродвигателей. Надпись «Нет отметчика» свидетельствует о том, что электродвигатель клетки выключен, однако система продолжает контролировать фоновый уровень вибрации (виброскорость, виброускорение) на неработающей клетке. Расчет пик-фактора и эксцесса в этом режиме не выполняется. Кроме того, на инвертированных клетях дополнительно выводятся сведения о рабочем положении клетки — горизонтальное или вертикальное.

Выход из закладки «Группа. Текущие данные» осуществляют нажатием кнопки «Возврат», при этом происходит переход на основную закладку «Текущие», где представлены все клетки стана с отображением све-

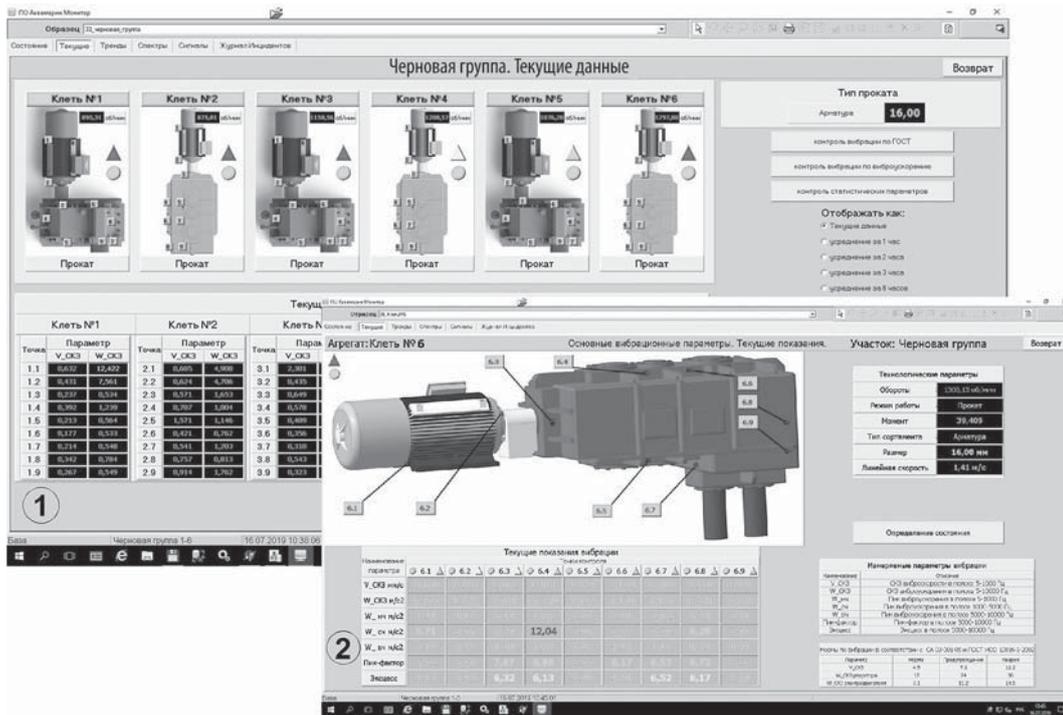


Рис. 3. Закладка «Текущие», выбор группы и выбор клетки (вид с экрана монитора)

товой сигнализации по значениям виброскорости в текущий момент времени.

Конкретную клеть выбирают нажатием транспаранта-идентификатора. Текущие показания основных вибрационных параметров клетки отображаются в виде числовых значений и с помощью световой сигнализации в случае превышения пороговых значений (см. рис. 3, окно 2). В сводных таблицах представлены информативные параметры: виброскорость, виброускорение, пик-фактор, эксцесс, общий уровень виброускорения в выделенных полосах. В таблице «Технологические параметры» выведены: тип проката, режим работы, скорость вращения электродвигателя, момент на валу электродвигателя, размер профиля, тип сортамента, линейная скорость прокатки на валках. В информационной таблице допустимых значений указаны нормы вибрации прокатного оборудования.

Выход из закладки «Клеть. Основные вибрационные параметры. Текущие показания» осуществляют нажатием кнопки «Возврат», при этом происходит переход на закладку «Текущие данные», выбранной ранее для просмотра группы клеток стана.

Анализ данных в приложении «Сервер АРМ» осуществляется в автоматическом режиме четыре раза в сутки, работает независимо от приложения «Диагностика АРМ» [7–14]. На автоматизированном рабочем месте диагноста можно выбрать любую клеть и выполнить внеочередную проверку нажатием клавиши «Определение состояния». В приложении «Диагностика АРМ» представлены все диагнозы для выбранной клетки, выполненные системой за прошедший период времени.

В диагнозе отражены: виды и степень развития обнаруженных дефектов для каждого подшипника и/или зубчатой передачи; соответствие уровня вибрации клетки установленным нормативным требованиям как в процессе прокатки, так и в режиме холостого хода; эксплуатационный ресурс. Диагноз формируется в автоматическом режиме по результатам диагностирования прямого спектра и спектра огибающей, расчета эксцесса, пик-фактора в соответствии с решающими правилами. Результаты диагностирования и актуальные уровни вибрации учитываются при определении эксплуатационного ресурса узлов и клетки в целом.

В программе используется алгоритм автоматического слежения за скоростью вращения оборудования и оперативного выбора участков во временном сигнале (с минимальным отклонением оборотов <1 %) для преобразования в спектр. Для инженеров-диагностов предусмотрены дополнительные функции ручного анализа: 1/3-октавный спектр, вейвлет-анализ, кепстр, взаимный спектр, разнообразные виды статистической обработки. Приложение «Отчет» формирует текстовый документ о текущем техническом состоянии оборудования по результатам диагностики с указанием актуальных уровней вибрации, схемы агрегата, обнаруженных дефектов или неисправностей, допустимого эксплуатационного ресурса клетки и рекомендации по устранению обнаруженных неисправностей или дефектов.

Полученные результаты

Непрерывный мелко- и среднесортный прокатный стан А/С 400/215 компании SMS Meer метал-

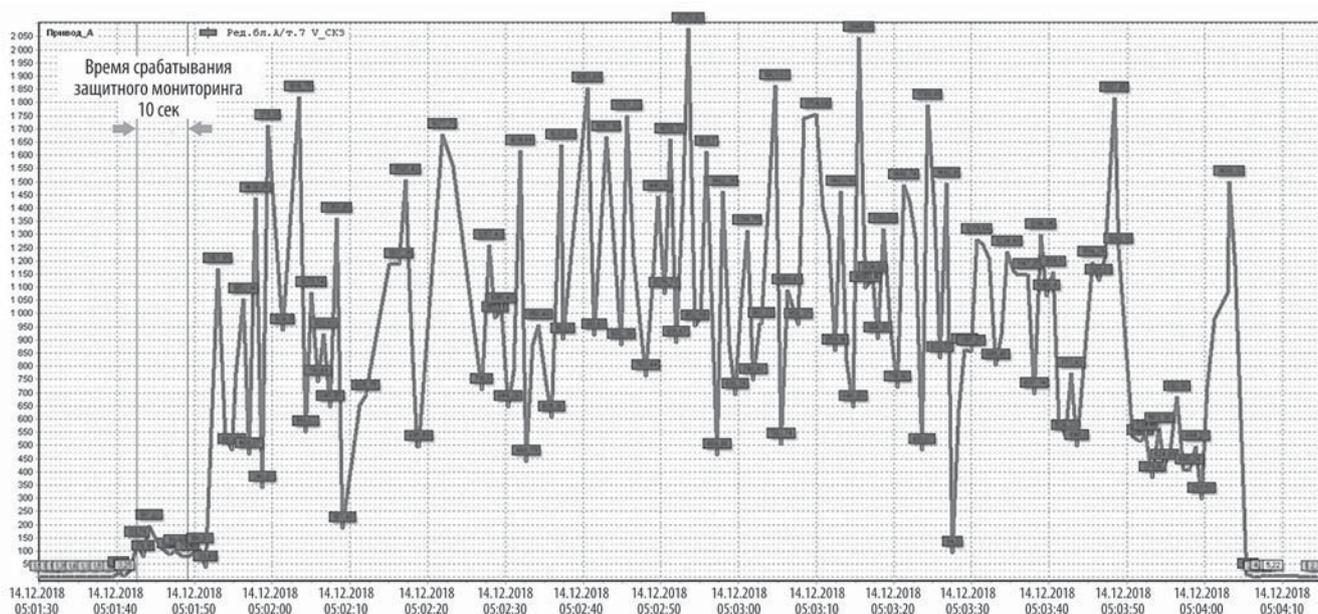


Рис. 4. Тренд виброскорости подшипника, точка 7 редуктора ВС блока (вид с экрана монитора)

лургического комбината «НЛМК—Калуга» состоит из черновой (6 клетей), промежуточной (6 клетей), чистой (6 клетей) групп прокатных клетей, двух чистовых 6-клетевых (кассет) высокоскоростных блоков с общим числом приводов 20 ед. Скорость прокатки составляет до 15 м/с на прокатных клетях и 38 м/с на высокоскоростных блоках. Режим работы прокатного стана непрерывный с остановами на планово-предупредительные ремонты и обслуживание оборудования продолжительностью 8–12 ч.

В СВД реализована методика защитного мониторинга, которая при резком росте вибрации обеспечивает подачу аварийного сигнала оператору прокатного стана о необходимости прекращения процесса прокатки. Локализация возникшей проблемы осуществляется на уровне каждой клетки стана в виде световой сигнализации.

Пример № 1. Формирование сигнала оповещения персонала при возникновении дефекта, повлекшего за собой разрушение сепаратора подшипника на редукторе высокоскоростного (ВС) блока показано **рис. 4** (секундные данные, без усреднения).

Значения вибрации подшипников редуктора высокоскоростного блока в защитном мониторинге определены как «предупреждение» (28 мм/с), «авария» (45 мм/с). На редукторе ВС блока уровень виброскорости из состояния «норма» (1,3–1,6 мм/с) вырос до значений «авария» (79–197 мм/с) в момент развития 1-го дефекта подшипника в точке 7. Время срабатывания аварийной сигнализации задано 10-секундным интервалом (отсчет, накопление, верификация данных). Затем произошел лавинообразный рост дефектов, сопровождаемый критическим уровнем вибрации 197–2079 мм/с. Время разрушения сепаратора составило ~3,5 мин. Вероятная причина появления дефекта — наличие одиночных выбросов вибрации, воз-

никающих при фазовом рассогласовании скоростей между кассетами моноблока. Данная ситуация может быть связана с недостаточным контролем состояния соединительных муфт между кассетами, устранить проблему позволит применение лазерной центровки с использованием динамометрического ключа.

Пример № 2. Разрушение промежуточной муфты на инвертированной (поворотной) клетки № 18, работавшей в горизонтальном положении, угловой редуктор отключен (**рис. 5**).

Уровень вибрации в точке 2 на холостом ходу (~0,7 мм/с) на 30 % выше, чем в процессе прокатки (~0,5 мм/с), данное обстоятельство указывает на наличие больших зазоров в муфтовом соединении. Производная виброскорости (среднее значение) при прокатке в течение 2 мин выросла в ~2 раза. Время прокатки одного сляба составляет 45 с. Нормативные значения вибрации электродвигателей клеток № 1–18 в защитном мониторинге первоначально определены как «предупреждение» (2,4 мм/с), «авария» (3,8) мм/с. Разрушение промежуточной муфты на клетки № 18 произошло за ~3 мин, при этом уровень вибрации в точке 2 на электродвигателе составил всего 1,4–2,8 мм/с.

Данная ситуация послужила основанием для того, чтобы для электродвигателей инвертированных клеток установить более жесткие нормы вибрации защитного мониторинга, чем на остальных клетях стана, а именно: «предупреждение» — 1,12 мм/с, «авария» — 1,4 мм/с. Значения границ зон технического состояния (ЗТС) определены по результатам статистического анализа инцидентов на прокатном оборудовании и представлены в **таблице**.

Логика срабатывания сигнализации в защитном мониторинге основана на том, что в случае превышения заданных уставок виброскорости на любом из указан-

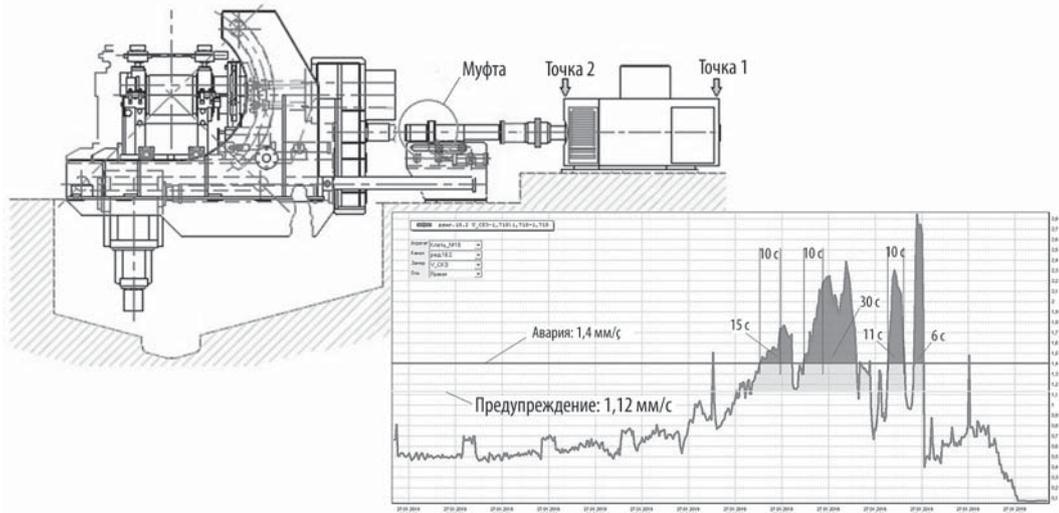


Рис. 5. Поворотная клетка № 18 и тренд виброскорости электродвигателя в точке 2 при разрушении промежуточной муфты

ных в таблице элементов клетки начинается отсчет времени тревоги на удержание сигнала. Если вибрация в течение 10 с не снижается до приемлемого значения, то на монитор оператора стана выводится сигнал аварийного состояния (проблемная клетка выделена красным цветом). С учетом положения сляба (или слябов) в клетях стана оператор должен закончить их прокатку и прекратить выдачу заготовок из печи, оповестить дежурный персонал о необходимости проведения осмотра аварийной клетки. После определения источника возникновения аварийной ситуации и устранения ее причины стан снова включают в производственный цикл. Граничные значения вибрации защитного мониторинга определены из статистического анализа инцидентов, произошедших на клетях стана в период пусконаладочных работ. Все случаи превышения уставок защитного мониторинга автоматически заносятся в «Журнал инцидентов», где хранятся сведения о времени события, наименовании клетки и локализации проблемной точки, комментарий об изменении состояния конкретного канала или агрегата в целом при переходе из нормального состояния в аварийное и обратно.

Следует обратить внимание на то, что динамика взаимодействия клетей проявляется в момент последовательного заполнения непрерывной группы как через заготовку, так и через жесткие связи (металлические площадки обслуживания) между фундаментами вертикальных клетей черновой группы. Образующиеся колебательные процессы в клетях № 2 действуют в качестве возмущения на последующие клетки № 4 и 6 через формирующийся подпор между фундаментами. Данное обстоятельство проявляется при значительной неравномерности термического нагрева заготовок в печи Furnace Axis перед их выдачей на прокатный стан. Наличие непрогретых участков заготовки до 200 °С ведет к снижению физико-механических свойств и структуры металла и возникновению значительных ударных нагрузок вертикальной клетки № 2 в момент захвата сляба валками [15].

Результаты промышленной эксплуатации СВД «Корунд» в ОАО «Запорожсталь» подтверждают эффективность работы диагностического модуля. Своевременно обнаруженные дефекты оборудования позволили оперативно выполнить ремонтные работы на прокатных клетях без снижения производительности стана. Экономический эффект по результатам превентивного ремонта редукторов стана 1680 за 7 мес эксплуатации СВД «Корунд» составил половину стоимости затрат на ее приобретение [16].

Анализ результатов промышленной эксплуатации СВД «Корунд» показывает, что в оборудовании клетей стана постоянно имеют место взаимосвязанные вибродинамические процессы, такие как крутильные колебания в электромеханической линии главного привода и высокочастотная вибрация валков, станины, корпуса редуктора и шестеренной клетки. Комплексный подход к определению технического состояния прокатного оборудования позволяет разрабатывать режимы работы механизмов, обеспечивать уменьшение ударных нагрузок, увеличивать долговечность и надежность узлов клетей, что в дальнейшем послужит основанием для перехода на обслуживание прокатного оборудования по фактическому техническому состоянию [17].

Выводы

1. Разработанная система диагностирования механизмов прокатного стана основана на контроле вибрации корпусного оборудования и выполняет диагностику как в процессе прокатки, так и в режиме холостого хода, определяет техническое состояние подшипников и зубчатых зацеплений муфт, редукторов, шестеренных клетей, вид и степень развития дефекта, рассчитывает допустимый эксплуатационный ресурс механизма.

2. Методика защитного мониторинга обеспечивает своевременное информирование персонала о воз-

Границы зон технического состояния для прокатного стана А/С 400/215			
Зона технического состояния	Параметр	Границы ЗТС	Выдержка, с
Электродвигатель до 800 кВт			
ЗТС «Допустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$V_{скз} < 2,8$	
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$A_{скз} < 12$	
ЗТС «Требуется принятие мер»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$2,8 \leq V_{скз} < 3,8$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$12 \leq A_{скз} < 16$	10
ЗТС «Недопустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$3,8 \leq V_{скз}$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$16 \leq A_{скз}$	10
Электродвигатель инвертированной клетки (8, 10, 12, 14, 16, 18)			
ЗТС «Допустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$V_{скз} < 1,12$	
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$A_{скз} < 12$	
ЗТС «Требуется принятие мер»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$1,12 \leq V_{скз} < 1,4$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$12 \leq A_{скз} < 16$	10
ЗТС «Недопустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$1,4 \leq V_{скз}$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$16 \leq A_{скз}$	10
Электродвигатель 2200 кВт			
ЗТС «Допустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$V_{скз} < 2,8$	
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$A_{скз} < 12$	
ЗТС «Требуется принятие мер»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$2,8 \leq V_{скз} < 4,5$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$12 \leq A_{скз} < 24$	10
ЗТС «Недопустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$4,5 \leq V_{скз}$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$24 \leq A_{скз}$	10
Угловой редуктор инвертированной клетки			
ЗТС «Допустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$V_{скз} < 11,2$	
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$A_{скз} < 12$	
ЗТС «Требуется принятие мер»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$11,2 \leq V_{скз} < 18$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$12 \leq A_{скз} < 24$	10
ЗТС «Недопустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$18 \leq V_{скз}$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$24 \leq A_{скз}$	10
Редукторы клеток 1–18; Редуктор и кассеты моноблока высокоскоростного блока			
ЗТС «Допустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$V_{скз} < 28$	
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$A_{скз} < 24$	
ЗТС «Требуется принятие мер»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$28 \leq V_{скз} < 45$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$24 \leq A_{скз} < 48$	10
ЗТС «Недопустимо»	СКЗ виброскорости $V_{скз}$	$45 \leq V_{скз}$	10
	СКЗ виброускорения $A_{скз}$	$48 \leq A_{скз}$	10

никновении внештатной ситуации на прокатном оборудовании, снижая вероятность развития вторичных дефектов.

3. Система дает возможность в автоматическом режиме получать полноценную информацию о техническом состоянии оборудования, планировать время

проведения технического обслуживания и ремонта оборудования, обнаруживать и устранять причины отказов, укреплять производственную дисциплину путем объективного контроля и своевременного планирования действий оперативного персонала. **ЧМ**

В работе принимали участие С. В. Филиппов, А. В. Никифоров.

Библиографический список

1. Веренев В. В. Снижение динамических нагрузок и диагностика широкополосных станов в переходных режимах. — Никополь : СПД Фельдман О.О., 2014. — 203 с.
2. Кравченко В. М., Сидоров В. А., Седуш В. Я. Техническое диагностирование механического оборудования : учеб. пособие. — Донецк : «Юго-Восток, Лтд», 2009. — 459 с.
3. Сидоров В. А., Сушко А. Е. Выбор диагностических параметров стационарных систем контроля технического состояния металлургических машин // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2010. № 4. С. 46–50.
4. Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А. Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации : учеб. пособие. — СПб. : ГМУТ, 2012. — 159 с.
5. ГОСТ Р ИСО 10816-3–2002. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью вращения от 120 до 15 000 мин⁻¹. — Введ. 01.11.2007.
6. СА 03-001-05. Центробежные насосные и компрессорные агрегаты опасных производств. Эксплуатационные нормы вибрации. Утв. 15.12.2004. — М. : Стандартинформ, 2005. — 48 с.
7. Bendat J., Piersol A. Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis. New York : Chichester. Brisbane. Toronto, 1980.
8. Шварцбург Л. Э., Филиппов С. В. Особенности выбора типа датчиков положения по критерию «обобщенная желательность». — М. : ВНИИТЭМР, 1998. № 8. С. 126.
9. Веренев В. В. Динамические процессы в полосовых станах холодной прокатки: монография. — Днепр : ЛИРА, 2015. — 112 с.
10. Karl J., Kimpl E. Untersuchungen zur Alterung von Getriebeölen; unveröff entlichter Entwicklungsbericht, Eisenbeiss GmbH. Enns. Österreich, 2013.
11. Грайф М. Программное обеспечение для технического обслуживания машин // Черные металлы. 2016. № 11. С. 55–57.
12. Rossi G., Schwabe D. Object-oriented design structures in Web application models // Annals of Software Engineering. 2002. Vol. 13, Iss. 1-4. P. 97–110. DOI: 10.1023/A:1016593309733
13. Веренев В. В., Большаков В. И., Путноки А. Ю., Маншилин А. Г., Мацко С. В. Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680. — Днепропетровск : ИМА-пресс, 2011. — 184 с.
14. Бочаров А. В., Вишневикий Д. А., Жильцов А. П., Козачишен В. А. Разработка алгоритма и компьютерной программы для расчета надежности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли // Черные металлы. 2018. № 11. С. 27–33.
15. Кипин М. М. Влияние равномерности термического нагрева слэбов на вибрацию клетки в процессе прокатки // Вестник Кременчугского национального университета им. Михаила Остроградского. 2019. Вып. 4. С. 99–105. DOI: 10.30929/1995-0519.2019.4.99-105
16. Баглай А. В., Кипин М. М., Дубина М. А. Вибрационная диагностика редуктора широкополосного прокатного стана 1680 // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2019. № 1. С. 53–58.
17. Веренев В. В., Большаков В. И., Путноки А. Ю., Коринь А. А., Мацко С. В. Диагностика и динамика прокатных станов : монография. — Днепр : ИМА-пресс, 2007. — 144 с.

VIBRODIAGNOSTICS SYSTEM FOR ROLLING MILL EQUIPMENT

A. V. Baglay¹, Director
M. M. Kipin¹, specialist in vibration analysis of machines III
V. V. Vorobyov², Dr. Eng., Prof., Engineering Technology Dept.
A. N. Guzeev³, Chief Engineer

¹ «Diamech-Ukraine» (Kharkov, Ukraine)

² Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University
 (Kremenchug, Ukraine)

³ Diamech 2000 Ltd. (Moscow, Russia)

E-mail: kipin@diamech.ru

Abstract: The developed Corund vibration diagnostics system provides continuous monitoring of the technical condition of rolling equipment. The implementation of the theory of dynamic processes in this system became possible thanks to the use of original measurement and analysis algorithms that take into account complex information about the current technical condition, process cycles and loading characteristics of rolling equipment. The basis of the system's ideology is a technique that provides for the technical condition diagnosis according to measurements in transient operation of the stand, mainly when the metal is bitten by rolls. At the same time, diagnostics are performed both in the process of rolling metal and in idle mode. An integrated approach to the organization of measurements and analysis of vibrational signals in the program allows to determine the type of defect, the degree of its development and calculate the operational resource of the machine components. Taking into account the features of production and the type of defect detected, the system generates a report for the maintenance personnel, which proposes measures to optimize operating modes, planning the volume and frequency of repairs or maintenance of rolling equipment. The system autonomously takes the necessary actions online to protect equipment alarming about exceeding the permissible levels of controlled parameters. The Corund system interacts with SQL and Oracle databases. The software structure has an open architecture and can be adjusted according to a specific technological task.

Keywords: control system, rolling equipment, stand, mill, vibration diagnostics, protective monitoring, operational resource, maintenance.

References:

1. Verenev V. V. Decrease in dynamic loadings and diagnostics of broad-strip mills in transient modes. Nikopol: SPD Feldman O. O., 2014. 203 p.
2. Kravchenko V. M., Sidorov V. A., Sedush V. Ya. Technical diagnos-

tics of mechanical equipment: tutorial. Donetsk: Yugo-Vostok Ltd, 2009. 459 p.

3. Sidorov V. A., Sushko A. E. Selection of diagnostic parameters of stationary systems to control technical state of metallurgical machines. *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchiy kontrol*. 2010. No. 4. pp. 46–50.
4. Barkov A. V., Barkova N. A., Azovtsev A. Yu. Monitoring and diagnostics of rotor machines by vibration: tutorial. Saint-Petersburg: GMTU, 2012. 159 p.
5. GOST R ISO 10816-3-2002. Vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Part 3. Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 and 15 000 rpm. Introduced: 01.11.2007.
6. SA 03-001-05. Centrifugal pump and compressor aggregates for hazardous production. Approved: 15.12.2004. Moscow: Standartinform, 2005. 48 p.
7. Bendat J., Piersol A. Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis. New York: Chichester. Brisbane. Toronto, 1980.
8. Shvartsburg L. E., Filippov S. V. Features of the selection of position sensor type by generalized desirability criterion. Moscow: VNIITEMR, 1998. No. 8. p. 126.
9. Verenev V. V. Dynamic processes in cold rolling strip mills: monograph. Dnepr: LIRA, 2015. 112 p.
10. Karl J., Kimpl E. Untersuchungen zur Alterung von Getriebeölen; unveröffentlichter Entwicklungsbericht, Eisenbeiss GmbH. Enns. Österreich, 2013.
11. Greif M. Software for technical maintenance of equipment. *Chernye Metally*. 2016. No. 11. pp. 55–57.
12. Rossi G., Schwabe D. Object-oriented design structures in Web application models. *Annals of Software Engineering*. 2002. Vol. 13, Iss. 1-4. pp. 97–110.
13. Verenev V. V., Bolshakov V. I., Putnoki A. Yu., Manshilin A. G., Matsko S. V. Dynamic processes in stands of a 1680 broad-strip mill. Dnepropetrovsk: IMA-press, 2011. 184 p.
14. Bocharov A. V., Vishnevsky D. A., Zhiltsov A. P., Kozachishen V. A. Development of the algorithm and computer program for calculating the equipment reliability and production risk in the metallurgical industry. *Chernye Metally*. 2018. No. 11. pp. 27–33.
15. Kipin M. M. Effect of uniformity of slabs thermal heating on vibration in a stand when rolling. *Vestnik Kremenchugskogo natsionalnogo universiteta imeni Mikhaïla Ostrogradskogo*. 2019. Iss. 4. pp. 99–105.
16. Baglay A. V., Kipin M. M., Dubina M. A. Vibration diagnostics for a 1680 broad-strip mill reduction unit. *Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchiy kontrol*. 2019. No. 1. pp. 53–58.
17. Verenev V. V., Bolshakov V. I., Putnoki A. Yu., Korin A. A., Matsko S. V. Diagnostics and dynamics of rolling mills: monograph. Dnepr: IMA-press, 2007. 144 p.

Романцев Б. А., Гончарук А. В., Вавилкин Н. М., Самусев С. В.

Трубное производство. Учебник

Представлены элементы теории, современные технологии и оборудование для производства бесшовных, холоднодеформированных и сварных труб.

Приведены характеристики исходных заготовок и способы их производства, расчет энергосиловых параметров процессов производства труб, таблиц прокатки, калибровки инструмента. Описаны характерные виды брака труб и способы их устранения. Рассмотрены вопросы производительности при производстве труб по различным технологическим схемам.

Предназначен для студентов специальностей 150106, 150404, может быть полезен инженерно-техническим и научным работникам, специализирующимся в области трубного производства.

2-е изд., испр. и доп.

По вопросам приобретения книги обращайтесь:

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6., стр. 2

НИТУ МИСИС, "А"-корпус, 6-й этаж, офис 624.

Эл. почта: books@rudmet.ru

Тел: (495) 955-01-75



«Руда и Металлы»
Издательский дом

Реклама