

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОКАТНОГО СТАНА

М. М. Кипин

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Динамические нагрузки, возникающие в прокатной клети, в значительной степени зависят от технического состояния, как узлов, так и элементов сочленения. Поэтому задача поиска, анализа и исследования взаимосвязей информативных параметров технологических процессов с параметрами вибрационного состояния оборудования имеет первостепенное значение. Приведены результаты эксплуатации системы, которая отображает виды и степень развития обнаруженных дефектов для каждого подшипника и/или зубчатой передачи, и соответствие уровня вибрации клети установленным нормативным требованиям, как в процессе прокатки, так и в режиме холостого хода. При нажатии кнопки «Отчет Excel», запускается приложение формирующее отчет о текущем техническом состоянии оборудования, с указанием уровней вибрации и обнаруженных дефектов. Экономический эффект по результатам превентивного ремонта редукторов за первый год эксплуатации предлагаемой системы составил половину стоимости затрат на ее приобретение

Ключевые слова: прокатная клеть, мониторинг, диагностирование, дефекты, холостой ход.

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ПРОКАТНОГО СТАНУ

М. М. Кипин

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна.

E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Динамічні навантаження, виникаючі у прокатній кліті, в значній мірі залежать від технічного стану, як вузлів, так і елементів зчленування. Тому задача пошуку, аналізу та дослідження взаємозв'язків інформативних параметрів технологічних процесів з параметрами вібраційного стану обладнання має першорядне значення. Оцінка стану механічного обладнання в даний час в більшості випадків проводиться за значеннями вібраційних параметрів. Однак в силу існуючих особливостей технологічного процесу на прокатному стані ця умова не виконується. Серед причин, які призводять до цього, можна відзначити основні: періодичність процесу прокату, при якому циклічно чергуються режими «прокат» і «холостий хід», що призводить до стрибкоподібних змін вібрації в моменти заходу заготовки в кліть і виходу з неї, зміни частоти обертання в ці моменти і появи характерних частот зубозацеплення редуктора кліті в момент прокату; рі-

зноманітність сортаментів прокату, що зумовлює різні навантаження і частоти обертання приводу кліті в залежності від продукції, що виготовлюється і т.п. Багаторівнева система виконує безперервний моніторинг, діагностику та аналіз відхилень параметрів роботи обладнання на підставі вимірювання вібраційних і технологічних параметрів. Нормування вібраційних параметрів передбачено для двох режимів роботи обладнання: сталий процес прокатки на постійній швидкості і холостий хід. Значення вібраційних навантажень в клітках стану, отримані в реальних умовах прокату, можуть бути використані для оцінки рівнів міжкліткових сил, аналізу перехідних режимів захоплення - викиду смуги і оптимізації режимів настройок обтиснень валків клітей таким чином, щоб зменшити нерівномірність розподілу навантажень. Програмне забезпечення системи є комплекс програмних засобів, що працює у взаємодії з апаратним модулем СМ-8, призначеним для оперативної оцінки стану обладнання та виявлення можливих дефектів і недоліків в процесі експлуатації. Розроблена система діагностування прокатного стану на основі контролю вібрації корпусного обладнання виконує діагностику в процесі прокатки і в режимі холостого ходу, і визначає стан підшипників і зубчастих зачеплень муфт, редукторів і шестеренних клітей. Економічний ефект за результатами превентивного ремонту редукторів за перший рік експлуатації системи «Корунд» склав половину вартості витрат на її придбання

Ключові слова: Прокатна кліть, моніторинг, діагностування, дефекти, холостий хід.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В последнее время в прокатном производстве наметилась тенденция в направлении модернизации действующих прокатных станов, внедрения новых технологий и систем автоматического управления на базе современных компьютерных систем. При этом ледует отметить, что силовые и динамические условия работы станов ухудшились из-за освоения прокатки заготовок с пониженной температурой, прямой прокатки слябов на широкополосных станах, увеличения исходной толщины заготовки, уменьшения толщины готовой полосы.

Динамические процессы, формируемые в прокатном оборудовании при захвате полосы валками, существенно зависят от износа сочленяемых деталей и порождаемых зазоров, в том числе в главных линиях. Динамические нагрузки в широкополосных станах горячей прокатки в 2...4 и более раз превышают технологические нагрузки. Ударный характер и циклическое приложение динамической нагрузки снижают усталостную прочность и долговечность оборудования, приводят к усталостному разрушению деталей. На механизмы прокатного производства приходится наибольшая доля усталостных разрушений деталей – 25...40 % [1]. Исходя из этого, своевременная оценка состояния механизмов прокатного стана является актуальной задачей, решение которой позволит существенно снизить затраты на устранения аварийных ситуаций.

Оценка состояния механического оборудования в настоящее время в большинстве случаев проводится по значениям вибрационных параметров. Известными решениями является использование стационарных систем, разработанных

для роторных машин, работающих в длительном режиме. Основные принципы диагностирования роторных машин приведены в работах [2–5], 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. Однако в силу существующих особенностей технологического процесса на прокатном стане это условие не выполняется. Среди причин, которые приводят к этому, можно отметить основные [6–8]: периодичность процесса проката, при котором циклически чередуются режимы «прокат» 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 характерных частот зубозацепления редуктора клетки в момент проката; разнообразие сортментов проката, что подразумевает разные нагрузки и частоты вращения привода клетки в зависимости от изготавливаемой продукции и т.п.

Цель работы – оценка работоспособности и эффективности системы контроля технического состояния различных механизмов и узлов прокатного стана.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Наметившаяся тенденция в металлургической промышленности по применению систем неразрушающего контроля и диагностики технического состояния прокатного оборудования ставит перед разработчиками задачи по внедрению в производство комплексных решений [9]. Одним из возможных методов реализации этого направления есть система «Корунд» (производства компании «ДИАМЕХ»), которая позволяет определять текущее техническое состояние узлов, отслеживать момент начала развития дефекта, прогнозировать состояние клетки и выдавать рекомендации по планированию сроков технического обслуживания (установлена на стане НТЛС-1680 ЦГПТЛ ОАО «Запорожсталь»). Отличительной особенностью системы является: возможность непрерывной записи сигнала (до 180 с), разрешающая способность спектра до 25600 линий, статистический анализ переходных и установившихся режимов прокатки и совместимость с ORACLE SQL; измерение и отображение общего уровня СКЗ виброскорости в диапазоне 10-1000 Гц; измерение и отображение формы огибающей сигнала в диапазоне до 10000 Гц; измерение спектров огибающей с 1/3 октавными фильтрами до 2000 Гц; измерение пик-фактора в выбранной полосе до 10000 Гц; измерение эксцесса в выбранной полосе до 10000 Гц; измерение и отображение температуры от –45 до +140°С.

Многоуровневая система выполняет непрерывный мониторинг, диагностику и анализ отклонений параметров работы оборудования на основании измерения вибрационных и технологических параметров. Нормирование вибрационных параметров предусмотрено для двух режимов работы оборудования: установившийся процесс прокатки на постоянной скорости и холостой ход.



Значения вибрационных нагрузок в клетях стана, полученные в реальных условиях проката, могут быть использованы для оценки уровней межклетевых сил, анализа переходных режимов захвата – выброса полосы и оптимизации ре-

жимов настроек обжатий валков клетей таким образом, чтобы уменьшить неравномерность распределения нагрузок.

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

Система диагностирования работает в автоматическом (Сервер АРМ) и интерактивном режиме (режим диалога с оператором - Диагностика АРМ). Диалог с системой осуществляется через систему меню.

Главное меню содержит две основные закладки - «Текущие» и «Состояние».

Закладка «Текущие», при запуске программы открывается по умолчанию, и визуализирует вибрационное состояние всех клетей стана одновременно, в текущий момент времени. Световая сигнализация отображается: на транспаранте **Клеть №2** для всей клетки (или кассеты); отдельно по каждому каналу **3**, по виброскорости согласно стандарту; защитный мониторинг представлен значком:  для всей клетки. Результат автоматической диагностики отображается значком: , желтый цвет – средний дефект, красный цвет – сильный дефект.

Закладка «Состояние», 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. Световая сигнализация указывает на наличие отклонений (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, клетки находящиеся в ремонте или на техническом обслуживании.

Выбор группы осуществляется нажатием кнопки «Обзор» в соответствующем окне (черновая, промежуточная, чистовая, высокоскоростная (блок А или В)). 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. 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 не работающей 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» осуществляется нажатием кнопки «Возврат», при этом происходит переход на основную закладку «Текущие», где представлены все клетки стана, в текущий момент времени.

Выбор конкретной клетки осуществляется нажатием транспаранта, например, **Клеть №6**. Текущие показания основных вибрационных параметров отобра-

жаються числовими значеннями і світловою сигналізацією (в разі перевищення порогових значень). В сводних таблицях представлені: віброскорість, віброускорення, пік-фактор, ексцес, загальний рівень віброускорення в полосах. В таблиці «Технологічні параметри» виведені: тип прокату, режим роботи, швидкість обертання електродвигача, момент на валу електродвигача, розмір профіля, тип сортаменту, лінійна швидкість прокатки на валках. В інформаційній таблиці допустимих значень вказані норми вібрації прокатного обладнання.

Вихід із закладки «Клеть. Основні вібраційні параметри. Текучі показання» здійснюється натисканням кнопки «Возврат», при цьому відбувається перехід на закладку «Текучі дані», вибраної раніше для перегляду групи кліть стану (рис. 3).

Аналіз даних в додатку «Сервер АРМ» здійснюється в автоматичному режимі 4 рази в сутки, працює незалежно від додатку «Діагностика АРМ». На автоматизованому робочому місці діагноста можна вибрати будь-яку кліть і виконати внеочередну перевірку, натисканням клавіші «Визначення стану». В розкритому додатку «Діагностика АРМ» представлені всі діагнози для вибраної кліть (наприклад, кліть 6) виконані системою за минулий період часу.

В діагнозі відображені види і ступінь розвитку виявлених дефектів для кожного підшипника і/або зубчастої передачі, і відповідність рівня вібрації кліть установленним нормативним вимогам, як в процесі прокатки, так і в режимі холостого ходу. При натисканні кнопки «Отчет Excel», запускається додаток формуючий звіт про поточний технічний стан обладнання, з вказанням рівнів вібрації і виявлених дефектів.

ВИВОДИ. 1. Розроблена система діагностування застосована до прокатного стану на основі контролю вібрації корпусного обладнання, виконує діагностику, як в процесі прокатки, так в режимі холостого ходу, і визначає стан підшипників і зубчатих зацеплень муфт, редукторів і шестерених кліть.

2. Система «КОРУНД» виконує неперервний моніторинг технічного стану підшипникових опор електродвигачів, силових редукторів і шестерених кліть стану НТЛС-1680 ЦГПТЛ і дозволяє розпізнавати зароджуючіся дефекти підконтрольного обладнання.

3. Значення вібраційних навантажень в кліть стану, отримані в реальних умовах прокату, можуть бути використані для оцінки рівнів міжклітьових сил, аналізу перехідних режимів «захвату – виброса» полоси і оптимізації режимів налаштування обжатий валків кліть таким чином, щоб зменшити нерівномірність розподілу навантажень.

4. Економічний ефект по результатам превентивного ремонту редукторів за перший рік експлуатації системи «КОРУНД» склав половину вартості витрат на її придбання.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веренев В. В. Снижение динамических нагрузок и диагностика широкополосных прокатных станов в переходных режимах. Никополь: СПД Фельдман О.О., 2014. 203 с.
2. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин. М.: Машиностроение, 2000. 344 с.
3. Вибродиагностика. Г. Ш. Розенберг, Е. З. Мадорский, Е. С. Голуб и др. Под ред. Г. Ш. Розенберга. СПб: ПЭИПК, 2003. 284 с.
4. Ширман А. Р., Соловьев А. Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. М.: Машиностроение, 1996. 276 с.
5. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 7: Кн. 2: Вибродиагностика. Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова и др. М.: Машиностроение, 2005. 829 с.
6. 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.
7. Гайгемюллер Г., Клаппорт У., Лейтриц У. Диагностика агрегатов в прокатных цехах. *Черные металлы*. 1996. № 12. С. 48–50.
8. Мекел Дж., Геропп В., Аш. А. Применение компьютеризированных систем наблюдения и диагностики на прокатных станах. *Черные металлы*. 1999. № 12. С. 53–60.
9. Веренев В. В., Большаков В. И., Путноки А. Ю., Маншилин А. Г., Мацко С. В. Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680: Монография. В. В. Веренев и др.; Днепропетровск, ИМА-пресс, 2010. 184 с.

**FEATURES OF THE DIAGNOSTIC OPERATION WORK
OF TECHNICAL CONDITION OF EQUIPMENT OF ROLLING MILL**

M. Kipin

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine.

E-mail: tehm@kdu.edu.ua

Purpose. Assessment of the efficiency and effectiveness of the monitoring system of the technical condition of various mechanisms and assemblies of the rolling mill. **Methodology.** With the help of The “KORUND” system (manufactured by “DIAMEN”) determined the current technical condition of the nodes, tracked the moment the defect began to develop, predicted the condition of the cage, and made recommendations on how to schedule maintenance periods. The main methodology was to evaluate. **Results.** The developed diagnostic system applied to the rolling mill on the basis of monitoring the vibration of body equipment, performs diagnostics, both in the rolling process and in idle mode, and determines the condition of bearings and gears of couplings, gearboxes and gear stands. The “KORUND” system performs continuous monitoring of the technical condition of the bearings of electric motors, power reducers and gear stands of the NTL5-1680 TsGPTL mill and allows recognition of emerging defects in the equipment under control. Values of vibration loads in the mill stands, obtained under actual rolling conditions, can be used to assess the interstand forces, analyze the transient “capture-ejection” stripes and optimize the settings for

rolls' rolls reduction in such a way as to reduce the uneven distribution of loads. The economic effect according to the results of preventive repair of gears for the first year of operation of the "KORUND" system was half the cost of purchasing it. **Originality.** For the first time, it was given an assessment of the basic principles of diagnosing rotary machines. **Practical value.** The diagnosis reflects the types and degree of development of the detected defects for each bearing and / or gear, and the compliance of the vibration level of the stand with the established regulatory requirements, both in the rolling process and in the idling mode. When you click the "Excel Report" button, an application is launched that generates a report on the current technical condition of the equipment, indicating the vibration levels and detected defects. References 9, table 0, figures 0.

Key words: Rolling mill, monitoring, diagnosis, defects, idling.

REFERENCES

1. Verenev, V. (2014), *Snizhenie dinamicheskikh nagruzok i diagnostika shirokopolosnykh prokatnykh stanov v perehodnykh rezhimakh* [Reduction of dynamic loads and diagnostics of broadband rolling mills in transient conditions], SPD Feldman, Nikopol, Ukraine.
2. Goldin, A. (2000), *Vibratsiya rotornykh mashin* [Vibration of rotary machines], Mashinostroenie, Moscow, Russia.
3. Rozenberg, G., Madorskiy, Ye., Golub, Ye and oth. (2003), *Vibrodiagnostika*, [Vibration diagnostics], PEIPK, St.-Petersburg, Russia.
4. Shyrman, A., Solovyov, A. (1996), *Prakticheskaya vibrodiagnostika i monitoring sostoyaniya mekhanicheskogo oborudovaniya*, [Practical vibration diagnostics and monitoring of mechanical equipment condition], Mashinostroenie, Moscow, Russia.
5. Balytskyi F., Barkov A., Barkova N. and oth. (2005), *Nerazrushayushchiy kontrol: Vibrodiagnostika*, [Non-Destructive Testing: Vibration Diagnostics], Mashinostroenie, Moscow, Russia.
6. Sushko, A. (2011), "Methodology for the implementation of hardware and software monitoring of the technical condition and diagnostics of rolling mills for various vibration parameters", *Stal*, no. 5. pp. 60–65.
7. Geygemuller, G., Clapport, U., Leutritz, U. (1996), "Diagnostics of units in rolling shops", *Chernyye metally*, no. 12, pp. 48–50.
8. Mekel, J., Gerop, V., Ush, A. (1999), "The use of computerized monitoring and diagnostic systems on rolling mills", *Chernyye metally*, no. 12, pp. 53–60.
9. Verenev, V., Bolshakov, V., Putnoki, A., Manshylyn, A., Matsko, S. (2010), *Dinamicheskie protsessyi v kletyah shirokopolosnogo stana 1680: Monografiya*, [Dynamic processes in the stands of broadband mill 1680: Monograph], IMA-press, Dnipropetrovsk, Ukraine.

Стаття надійшла 20.05.2019.