

# КОМПЛЕКС АВТОМАТИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОКАТНОГО СТАНА \*

А.В. Баглай, А.Н. Гузеев, М.М. Кипин, С.В. Филиппов

ДП «ДИАМЕХ-УКРАИНА». 61105, г. Харьков, ул. Киргизская, 19, АБК-1. E-mail: baglay@diamech.com.ua

Динамические нагрузки, возникающие в прокатной клети, в значительной степени зависят от технического состояния узлов и элементов сочленения. Поэтому задача поиска, анализа и исследования взаимосвязей информативных параметров технологических процессов с параметрами вибрационного состояния оборудования имеет первостепенное значение. Библиогр. 5, рис. 9.

*Ключевые слова:* прокатный стан, техническое состояние оборудования, вибрация, диагностика

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 [1].

**Цель работы.** Система диагностирования должна учитывать режимы работы оборудования и параметры прокатки металла, определять текущее техническое состояние узлов, отслеживать момент начала развития дефекта, прогнозировать состояние клети и выдавать рекомендации по планированию сроков технического обслуживания.

**Описание исследования.** Прокатный стан А/С 400/215 фирмы «SMS Meer» состоит из четырех групп прокатных клетей: 6 клетей черновой, 6 клетей промежуточной, 6 клетей чистовой, двух чистовых шестиклетевых высокоскоростных блоков. Скорость составляет до 15 м/с на прокатных клетях и 38 м/с на высокоскоростных блоках. Прокатный стан работает в непрерывном режиме с остановками продолжительностью 8...12 ч на планово-предупредительные ремонты оборудования. Захват сляба валками прокатной клети является фактором возмущения, приводящим к формированию переходного колебательного процесса в механизме [2]. Измерения, выполненные на действующем прокатном стане, позволили установить определенные закономерности связей технологического процесса и поведением оборудования во время прокатки. Полученные данные легли в основу разработки математической модели и способов диагностики узлов прокатных клетей. Особое внимание было уделено выбору норм вибрации для данной категории механизмов. Величина общего среднего квадратического значения виброскорости является основным диагностическим параметром, регламентируемым стандартами. При этом стандартов, в которых бы четко прописывались нормы вибрации для металлургического обо-

рудования, нет. Но в действующих стандартах есть примечание, в котором сказано: «Машины специфических производств, особых конструкций и видов могут иметь предельные уровни вибрации, отличающиеся от приведенных в таблицах». Исходя из этого факта и многолетнего опыта диагностирования разнопланового оборудования, для контроля прокатных машин по виброскорости (в диапазоне частот 2–1000 Гц, мм/с, СКЗ) был выбран ГОСТ Р ИСО 10816-3-2002 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на не вращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью вращения от 120 до 15000 об/мин» [3]. Для контроля редукторов прокатных машин по виброускорению (в диапазоне частот 2–10000 Гц, м/с<sup>2</sup>, СКЗ) был выбран СА 03-001-05 «Стандарт ассоциации. Центробежные насосные и компрессорные агрегаты опасных производств. Эксплуатационные нормы вибрации» [4]. Для измерения параметров абсолютной вибрации используются пьезоэлектрические акселерометры АС-104-3С с выходом по напряжению (ICP), с коаксиальным антивибрационным кабелем устойчивым к электромагнитным и вибрационным наводкам, датчик надежен в эксплуатации и имеет хорошую амплитудно-частотную характеристику. Крепление датчика, ориентированного в вертикальном направлении, осуществляется винтом к монтажной площадке, что позволяет оперативно снимать и устанавливать его, например, при выполнении ремонтных или поверочных работ (рис. 1).

Каждый измерительный блок комплекса «Корунд» функционирует независимо либо в составе единой системы, с распределенной архитектурой, объединенной с сетью Ethernet. Отдельные блоки комплекса (или вся система в целом), работают автономно, осуществляя необходимые действия по защите оборудования в режиме реального вре-

\*В работе принимали участие Никифоров А.Д., Гушин А.Ю., Годунов С.Е.



Рис. 1. Монтаж акселерометров на прокатной клетке-механи, с выводом сигнализации о превышении допустимых уровней контролируемых параметров.

Питание измерительных блоков комплекса осуществляется от двух независимых источников питания +24 В. Для передачи данных имеются: порт RS-485 с поддержкой Modbus RTU и порт Ethernet 10/100 с поддержкой протоколов UDP или TCP/IP.

Программное обеспечение системы представляет собой комплекс программных средств, работающий во взаимодействии с аппаратным модулем СМ-8, предназначенным для оперативной оценки состояния оборудования и выявления вероятных дефектов и неисправностей в процессе эксплуатации [5]. Система диагностирования работает в автоматическом (Сервер АРМ) и интерактивном режиме (режим диалога с оператором – Диагностика АРМ). Диалог с системой осуществляется через систему меню.

Закладка «Состояние», визуализирует вибрационное состояние по виброскорости (2–1000 Гц, мм/с, СКЗ) всех клеток стана одновременно, по группам или по всему стану, за выбранный произвольный

интервал времени: час, сутки, месяц (рис. 2). 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.

Закладка «Текущие» визуализирует вибрационное состояние клеток стана в режиме реального времени (рис. 3, а). Световая сигнализация отображается: на транспаранте для всей клетки (или каскада); отдельно по каждому каналу, по виброскорости согласно стандарту; защитный мониторинг представлен круглым значком – для всей клетки. Результат автоматической диагностики отображается треугольным значком: желтый цвет – средний дефект, красный цвет – сильный дефект.

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 клеткам 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 on-line 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 работаю-



Рис. 2. Закладка «Состояние»

щей клетки. Расчет пик-фактора и эксцесса в этом режиме не выполняется.

Выход из закладки «Группа. Текущие данные» осуществляется нажатием кнопки «Возврат» (рис. 3, б).

На инвертированных клетях, в технологических параметрах дополнительно выводятся сведения о рабочем положении клетки: Горизонтальное или Вертикальное (рис. 4).

Текущие показания вибрационных параметров высокоскоростного блока отображаются числовыми

значениями и световой сигнализацией для каждой кассеты моноблока (рис. 5).

В программе реализован алгоритм контролирующей режим работы прокатной клетки, что позволяет системе диагностировать зубчатые передачи, подшипники качения или скольжения выполняя перекрестный анализ как в режиме холостого хода, так и в режиме прокатки. Для этого выборки временного сигнала разбиваются на равные промежутки времени, а интервал с минимальным от-

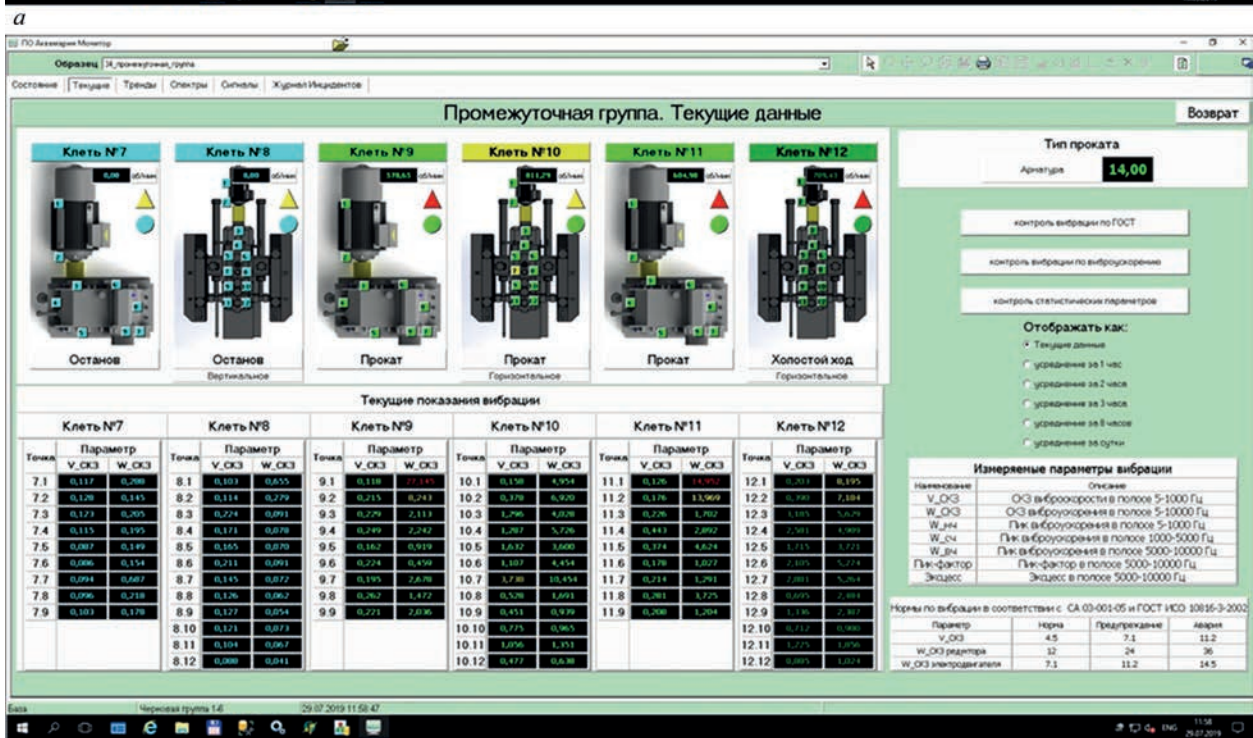
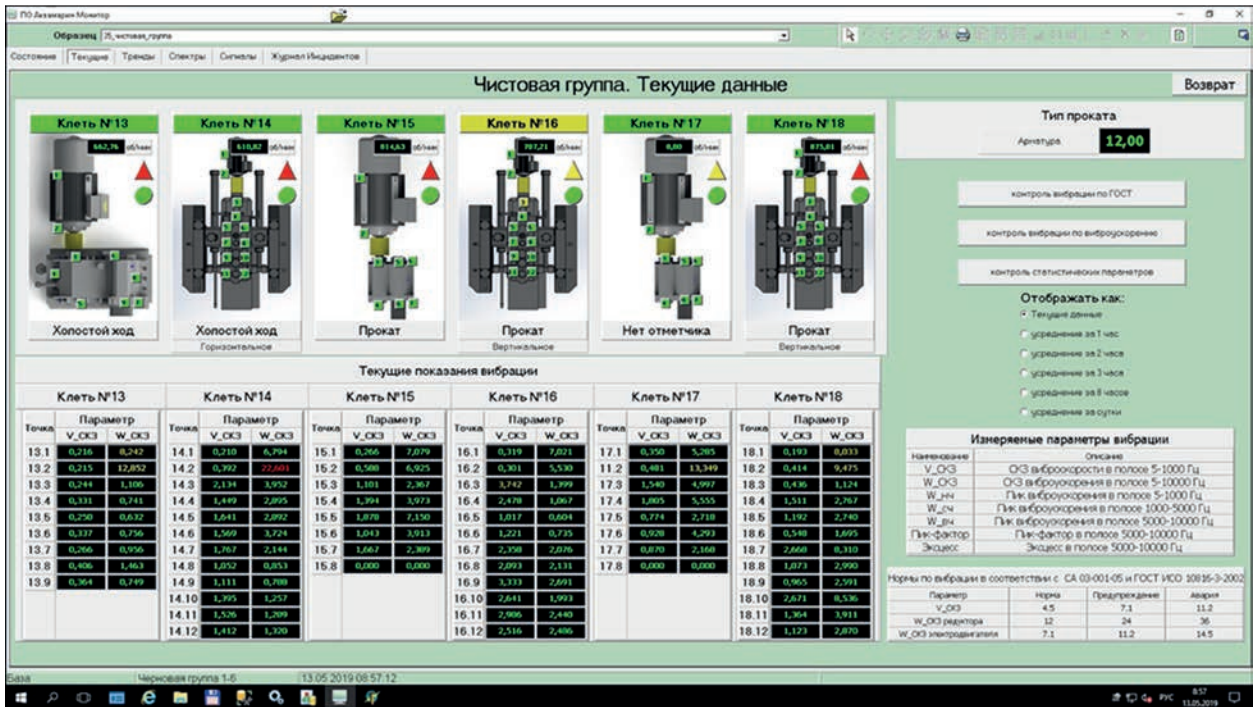


Рис. 3. Закладка «Текущие»: а – выбрать чистовую группу; б – промежуточную

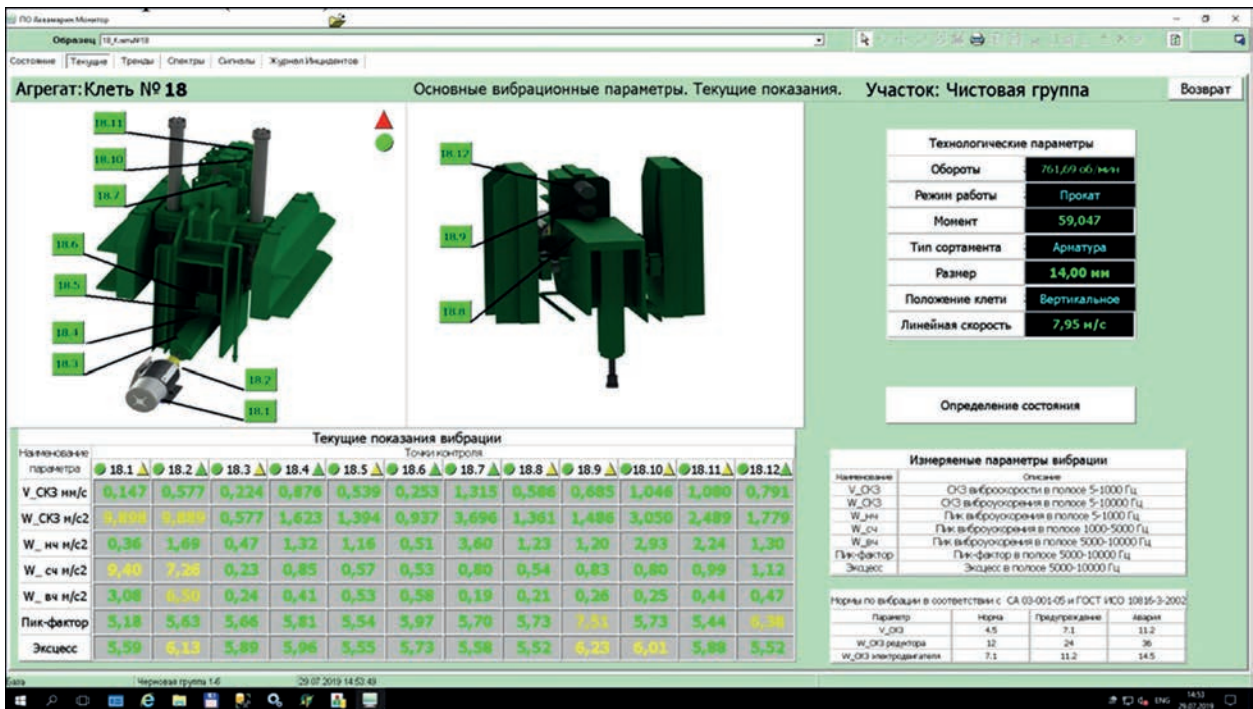


Рис. 4. Закладка «Чистовая группа», выбрать Клеть (например, клеть № 18)

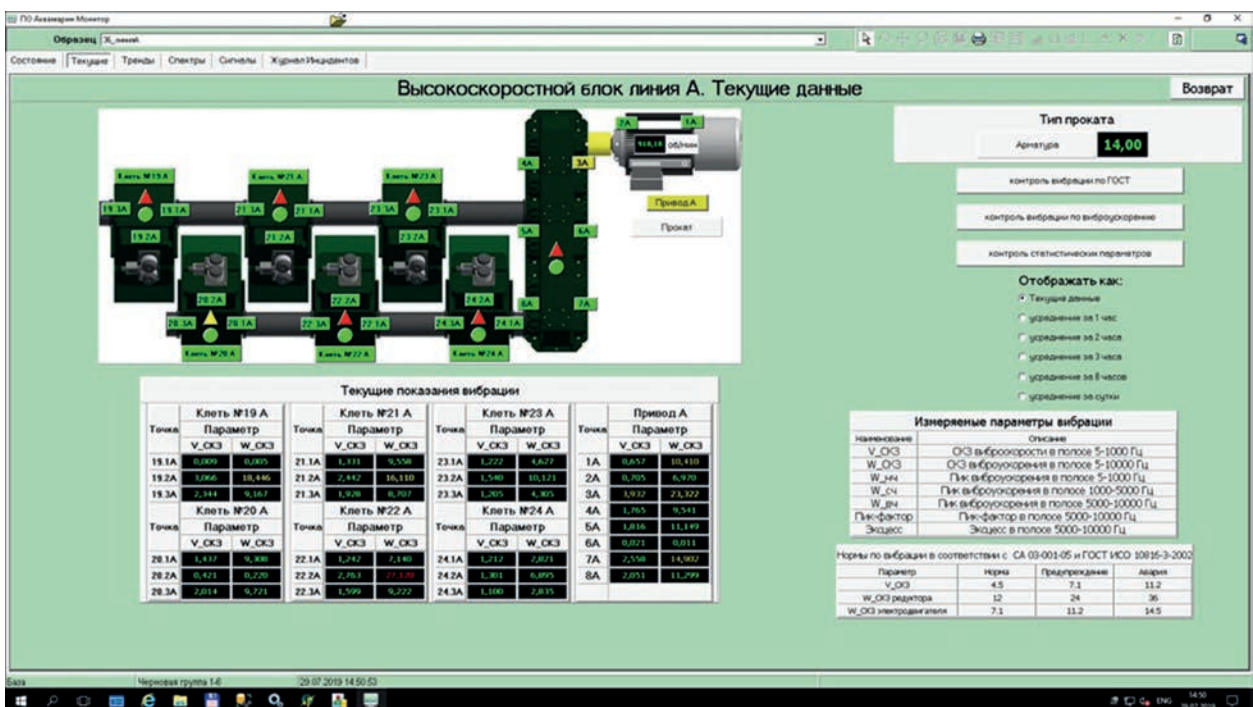


Рис. 5. Закладка «Высокоскоростной блок», выбрать линию А клонением скорости вращения подвергается цифровой обработке сигнала (рис. 6).

Анализ данных в приложении «Сервер АРМ» осуществляется в автоматическом режиме 4 раза в сутки, работает независимо от приложения «Диагностика АРМ». На автоматизированном рабочем месте диагноста можно выбрать любую клеть и выполнить внеочередную проверку нажатием клавиши «Определение состояния». В раскрывшемся приложении «Диагностика АРМ» представлены все диагнозы для выбранной клетки (например,

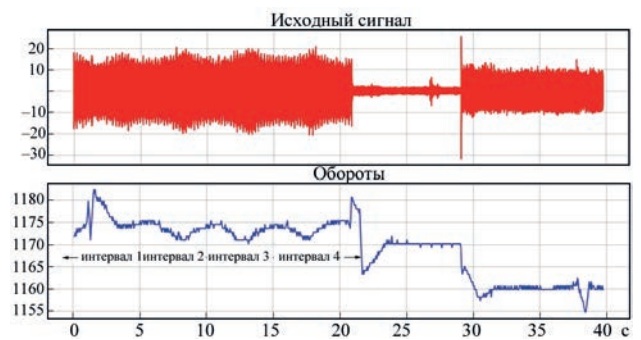


Рис. 6. Регистрация скорости вращения электродвигателя

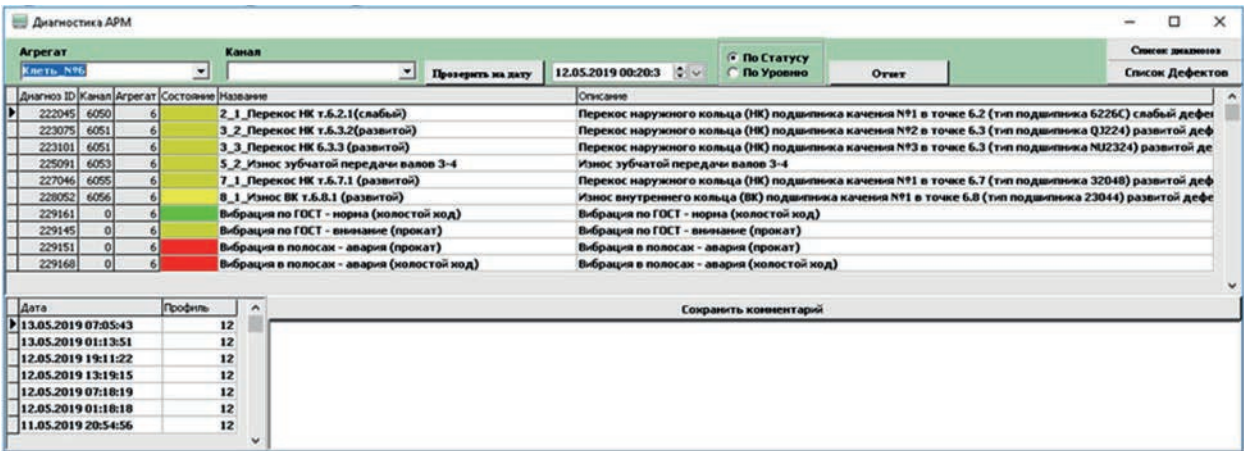


Рис. 7. Приложение «Диагностика АРМ»

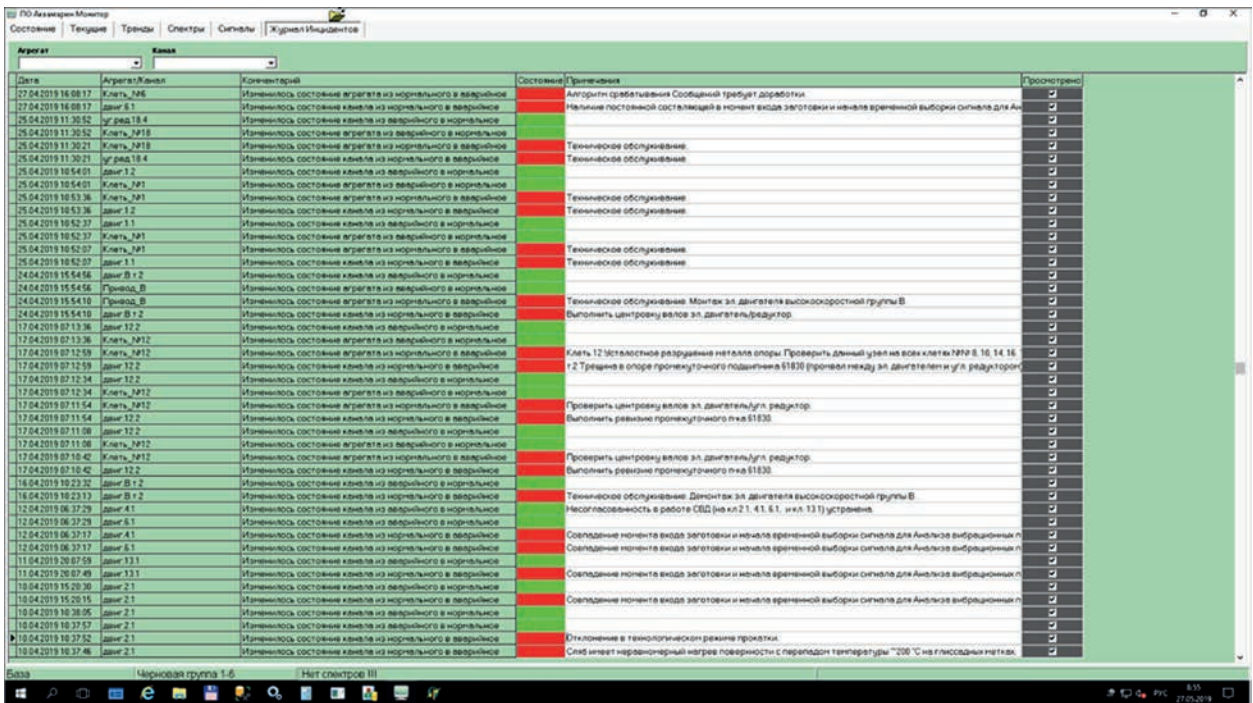


Рис. 8. Закладка «Журнал инцидентов»

клеть 6) выполненными системой за прошедший период времени (рис. 7).

Приведены виды и степень развития обнаруженных дефектов для каждого подшипника и/или зубчатой передачи, а также соответствие уровня вибрации клетки установленным нормативным требованиям как в процессе прокатки, так и в режиме холостого хода. Кнопкой «Отчет» запускается приложение формирующее отчет о текущем техническом состоянии оборудования, с указанием уровней вибрации и обнаруженных дефектов.

В Журнал инцидентов автоматически заносятся все случаи превышения уставок защитного мониторинга (рис. 8). В журнале отображаются данные о времени события, наименование клетки и локализация проблемной точки, комментарий об изменении состояния конкретного канала или агрегата в целом из нормального в аварийное состояние. В примечание вносятся сведения

о причине возникновения инцидента и об объеме выполненных работ по техническому обслуживанию или ремонту оборудования. Текст, вводимый в примечании, может дополняться документами и необходимыми изображениями, по окончании просмотра и/или редактирования инцидента, диагностом ставится отметка в ячейке журнала «Просмотрено».

**Полученные результаты.** Величина износа отдельных элементов подшипника качения пропорциональна глубине модуляции сигнала на информативной частоте. На кассете высокоскоростного блока стана А/С 400/215, после вывода ее из эксплуатации в плановый ремонт, была выполнена замена всех подшипников. На первоначальном этапе создания системы диагностики, предварительные величины глубины модуляции дефектов подшипника были заданы следующим образом: для слабого дефекта 4,5 %, для сильного дефекта 9 %.

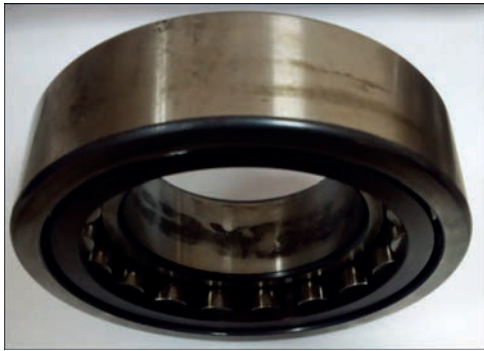


Рис. 9. Состояние подшипника кассеты высокоскоростного блока

По результатам демонтажа подшипников из кассеты моноблока и выполненной ревизии были обнаружены следующие дефекты (рис. 9):

- на контактных поверхностях наблюдаются изменения формы беговых дорожек, что свидетельствует о средней степени развития дефектов;
- слабые дефекты отмечены зеркальными поверхностями беговых дорожек и повышенными зазорами.

Для продления эксплуатационного ресурса подшипников мелкосортного стана, в таблицу степени развития дефектов подшипников качества, были внесены коррективы в сторону увеличения допустимой глубины модуляции.

Структура программного обеспечения имеет открытую архитектуру и может корректироваться под конкретную технологическую задачу.

Эффективная работа диагностического модуля системы «КОРУНД» на стане НТЛС-1680 позволила своевременно обнаружить дефекты на прокатных клетях и оперативно выполнить ремонтные работы без снижения производительности стана. Экономический эффект по результатам превентивного ремонта редук-

торов в ЦГПТЛ за 7 мес. эксплуатации автоматической системы вибродиагностики составил половину стоимости затрат на ее приобретение [5].

### Выводы

1. Разработанная система диагностирования применительно к прокатному стану на основе контроля вибрации корпусного оборудования выполняет автоматическую диагностику как в процессе прокатки, так и в режиме холостого хода, определяет состояние подшипников и зубчатых зацеплений редукторов, соединительных муфт и шестеренных клетей.

2. Объективная информация, предоставляемая системой о техническом состоянии оборудования позволяет планировать периоды ремонта и технического обслуживания клетей.

3. Комплексный подход к решению вопроса безопасности производства обеспечивает улучшение условий труда оперативного персонала металлургического комбината, снижению производственного брака и снижения затрат на ремонты оборудования.

### Список литературы / References

1. Verenev, V.V., Bolshakov, V.I., Putnoki, A. Yu. et al. (2010) *Dynamic processes in stands of wide-strip mill 1680*. In: Monography. Dnepropetrovsk, IMA-press [in Russian].
2. Verenev, V.V. (2014) *Lowering of dynamic loads and diagnostics of wide-strip mills in transition modes*. Nikopol, SPD Feldman O.O. [in Russian].
3. (2003) GOST R ISO 10816-3-2002: *Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Pt 3: Industrial machines with nominal power base above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 1500 r/min when measured in situ*. Moscow, Standartinform [in Russian].
4. (2005) SA 03-001-05: *Association standard. Centrifugal pumping and compressor units of hazardous productions. Service vibration norms*. Moscow, Standartinform [in Russian].
5. Baglai, A.V., Kipin, M.M., Dubina, M.A. (2019) *Vibrational diagnostics of a reducer of wide-band rolling mill 1680*. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 1, 53-57 [in Russian].

## КОМПЛЕКС АВТОМАТИЧНОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ОБЛАДНАННЯ ПРОКАТНОГО СТАНУ

А.В. Баглай, А.Н. Гузєєв, М.М. Кіпін, С.В. Філіппов  
ДП «ДІАМЕХ-УКРАЇНА». 61105, м. Харків, вул. Киргизська, 19, АБК-1. E-mail: baglay@diamech.com.ua

Динамічні навантаження, виникаючі у прокатній кліті, в значній мірі залежить від технічного стану вузлів, а також елементів зчленування. Тому задача пошуку, аналізу та дослідження взаємозв'язків інформативних параметрів технологічних процесів із параметрами вібраційного стану обладнання має першорядне значення. Бібліогр. 5, рис. 9.

*Ключові слова:* прокатний стан, технічний стан обладнання, вібрація, діагностика

## COMPLEX FOR AUTOMATIC VIBRATIONAL DIAGNOSTICS OF ROLLING MILL EQUIPMENT

A.V. Baglay, A.N. Guzeev, M.M. Kipin, S.V. Filippov  
«DIAMECH-UKRAINE». ABK-1, 19 Kyrgyzskaya Str., 61105, Kharkov, Ukraine. E-mail: baglay@diamech.com.ua

Dynamic loads arising in the rolling stand, to a large extent depend on the technical condition of the assemblies and articulation elements. That is why, the task of searching, analyzing and studying the relationships of informative parameters of technological processes with the parameters of vibrational state of the equipment is of paramount importance. 5 Ref., 9 Fig.

*Keywords:* rolling mill, technical condition of the equipment, vibration, diagnostics

Поступила в редакцию  
15.07.2019