

**В.В. Веренев, В.И. Большаков**

## **СОСТОЯНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ОБОРУДОВАНИЯ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ**

Рассмотрены примеры износа и отказов оборудования, технической и экономической эффективности применяемых систем вибродиагностики и мониторинга прокатных станов. Показана необходимость развития методов и способов вибрационной диагностики прокатных станов, у истоков исследования которых стоял С.Н.Кожевников.

### **Суть вопроса.**

Прокатные станы относятся к классу тяжелых энергоемких агрегатов, которые изготавливаются по индивидуальным проектам в единичных экземплярах. Каждый тип стана отличается конструктивным исполнением и специфическими условиями работы в зависимости от технологии прокатки. Это тихоходные мощные обжимные станы и сравнительно слабонагруженные скоростные дрессировочные и проволочные станы, непрерывные широкополосные станы горячей и холодной прокатки с большим диапазоном скоростей по клетям, станы прокатки труб и др.

Для большинства станов и их клеток типичным является ударный характер приложения нагрузки, прежде всего при захвате заготовки валками. Это обстоятельство приводит к формированию существенных динамических нагрузок, которые отрицательно сказываются на долговечности оборудования. Стремление увеличить производительность, расширить сортамент продукции и улучшить ее качество и увеличить прибыль предприятия связано с интенсификацией работы прокатных станов. Это в свою очередь привело к увеличению статических и динамических нагрузок, росту износа сочленяемых деталей и зазоров, снижению долговечности, потере производства из-за поломок оборудования усталостного характера.

Срок службы многих станов исчисляется десятками лет. Поддержание работоспособности оборудования прокатных станов обеспечивается проведением планово-предупредительных ремонтов, которые являются устоявшейся, однако, устаревшей практикой технического обслуживания. Она позволяет продолжать эксплуатацию прокатных станов, неся при этом большие затраты на ремонты.

Современные экономические условия приводят к необходимости внедрения новой стратегии технического обслуживания «по фактическому состоянию». Последние 10–15 лет исключительно большое внимание уделяется определению технического состояния (ТС) на основе вибрационной диагностики прокатного оборудования [1–18]. Отмечаются преимущества эксплуатации станов с использованием систем контроля и

диагностики: улучшение качества продукции, оптимизация технологического процесса и работы оборудования, а также улучшение системы ремонтов, ориентированной на техническое состояние узлов. Приводятся примеры эффективного и успешного применения систем диагностики.

В данной работе анализируется состояние вибрационной диагностики и мониторинга технического состояния оборудования прокатных станов, основные направления работ в этой области и акцентируется внимание на новых подходах к разработке способов диагностирования.

### **Направления разработок и исследований.**

Интенсивное развитие информационных технологий, средств виброизмерений, анализа сигналов, методов обработки больших массивов информации способствовало разработке и внедрению на ведущих металлургических предприятиях систем вибрационной диагностики и мониторинга прокатного оборудования. Данные термины весьма обширны. Об этом можно судить на основании того, что под ними подразумевают весьма широкий круг решаемых задач и направлений исследований:

1. Разработка диагностического инструментария – от вибрационных датчиков до портативных переносных регистрирующих приборов [19–21]. Внедряются также стационарные системы диагностики, обслуживающие металлургические агрегаты [9, 29].

2. Разработка общих принципов и схем построения диагностических систем, их организация, структура [1,4,29], обоснование необходимости применения систем диагностики [2,8,9,23], анализ опыта их применения [5,24].

3. Разработка принципов технического обслуживания и прогнозирования сроков ремонтных работ на основании данных вибрационной диагностики и мониторинга [7,25–27].

4. Управление техническим состоянием оборудования по результатам мониторинга и диагностики [25,26].

5. Исследование вибродинамических процессов в оборудовании прокатных станов, информативных и диагностических параметров [7,12,28].

6. Исследование связи информативных параметров и диагностических признаков с ТС узлов и деталей оборудования, разработка правил идентификации ТС.

7. Разработка способов и методов вибрационного диагностирования ТС линии главного привода и клетки как в целом, так и отдельных узлов [3,6,29].

8. Разработка диагностических моделей для исследования вибродинамических процессов, информативных параметров и признаков и их зависимости от параметров ТС оборудования [30,31,32].

9. Разработка математического и программного обеспечения для обработки больших массивов измерительной информации, поиска и выделения диагностических признаков, для визуализации как собст-

венно процессов и их параметров, так и тенденций в процессе длительной эксплуатации оборудования [2,35,7,33,34].

10. Разработка методов оценки эффективности применения вибрационной диагностики в части предупреждения отказов оборудования и получаемой экономической выгоды [2,7,10].

11. Разработка методов анализа и оценки влияния параметров ТС оборудования клетей на качество проката и обеспечения качества путем контроля состояния оборудования [8,35].

### **Износ и отказы оборудования главных линий клетей станов.**

Данные экспериментальных исследований свидетельствуют об исключительно большой роли угловых зазоров, порождаемых износом сочленяемых деталей, в формировании существенных динамических нагрузок в период захвата заготовки валками. Эти нагрузки в большинстве случаев приводят к усталостному характеру разрушений деталей линии привода и клетки. Основными видами повреждений станов горячей прокатки являются поломки зубчатых зацеплений редукторов и муфт, поломки рабочих валков по шейкам и головок шпинделей по зеву выход из строя подшипников.

Аварийные простои листопрокатных станов из-за поломок шпиндельных соединений составляют 12–15% от общего числа простоев вследствие выхода из строя механического оборудования станов. Поломки элементов шарниров (вкладышей, пальцев, лопастей и вилок) составляют в целом незначительную часть от числа отказов по износу рабочих поверхностей, однако они, как правило, вызывают ощутимые простои станов. Так, разрушение головки шпинделя (характер излома по развитой трещине усталости) клетки дуо стана 2350 вызвало простой стана в течение 7 часов и потерю производства около 600 т проката [37].

Для обойм вышедших из строя зубчатых муфт характерно смятие зубьев до их заострения (недостаточная твердость зубьев). В то же время явно отмечены поломки сравнительно мало изношенных зубьев втулок. Наиболее вероятными причинами таких поломок является ударный характер нагружения зубьев при захвате полосы, обусловленный значительными зазорами в муфте [36].

В случаях перегрузки наиболее вероятными являются поломки рабочих валков, которые обладают наименьшим запасом прочности. Для них характерны следующие виды разрушений: разрушение трефовых хвостовиков (42%), излом по шейке (38%), выкрашивание поверхности бочки валка (15%) и излом по бочке (5%) [37]. Изломы хвостовиков и шеек валков происходят, как правило, под углом 45° к оси валка. В результате возникают большие нагрузки и распорные усилия, действующие на подшипники рабочих валков и валков шестеренной клетки. Даже после отключения привода при аварийной поломке валка до момента его остановки происходит повреждение стоек системы уравнивания шпиндельного устройства.

Повреждения зубчатых передач в редукторах и шестеренных клетях сопровождаются длительными простоями. Отмечают следующие виды их повреждений: усталостные поломки зубьев, из-за недопустимого износа поверхности зубьев, вызванные однократной чрезмерной перегрузкой и др. [38]. Особенностью усталостных поломок зубьев является внезапность их появления при нормальной работе клетки. Отмечено выкрашивание зубьев, появление и развитие трещин и разрывов обода зубчатого колеса ведомого вала. Поломки происходят при наличии увеличенных зазоров в валковых муфтах. Имеет место выработка подшипников шестеренных валков, на одном из станов составляющая 5–6 мм. Исследование поломок подшипников качения на широкополосном стане горячей прокатки завода Беккерверт фирмы Тиссен показало, что долговечность подшипников в шестеренных клетях колеблется в пределах 3–6 лет. При этом затраты на ремонт потребовались не только в связи с тем, что за 17 лет эксплуатации вышли из строя 55 подшипников качения и их замена сопровождалась соответствующей переналадкой, но и на устранение вторичных повреждений, вызванных попаданием деталей подшипников качения в зубчатое зацепление или заедание наружного кольца подшипника [39].

Существенные ударные нагрузки в редукторе приводили к появлению и развитию трещин в корпусе, особенно резьбовых соединений фундаментных болтов и разрушению фундамента. В клетях 4 стана 2000 в течение одного года анкерные болты редуктора разрушались 6 раз [40].

В работе [41] отмечается, что отказы непосредственно от износа возникают значительно реже, так как они практически «упреждаются» в период текущих ремонтов, при которых заменяют в основном все быстро изнашиваемые детали, но износ (угловые и радиальные зазоры) вызывают поломки других деталей в результате общего увеличения динамических нагрузок в переходных режимах работы. Однако из всех замен наиболее часто меняют по износу бронзовые вкладыши, через 0,5–2 месяца. В работе [41] для стана 1700, на основании статистической обработки данных о простоях оборудования, пришли к выводу о том, что «продолжительность безотказной работы оборудования практически не зависит от времени, прошедшего после ремонта, а число отказов в среднем за равные промежутки времени примерно одинаково, независимо от того, отсчитываются ли эти промежутки от начала работы стана после ремонта, т.е. в межремонтный период, или от любого другого момента с включением в этот промежуток времени и самого ремонта». И далее «...текущие ремонты не могут повысить существующий уровень надежности оборудования».

Данные краткого обзора дают основание заключить, что наиболее важно и необходимо диагностировать износ (угловые и радиальные зазоры) сочленяемых деталей, оказывающий решающее влияние на динамические нагрузки и поломки оборудования, а также насколько экономиче-

ски может быть выгодно путем диагностических действий вовремя установить фактическое техническое состояние оборудования и предотвратить отказы в результате поломок от перегрузок.

### **Эффективность систем вибродиагностики.**

Примеры успешного применения систем мониторинга и диагностики состояния оборудования прокатных станов свидетельствуют о перспективности развития направления технического обслуживания по фактическому состоянию.

Одним из поводов, привлечших внимание к разработке и применению систем вибромониторинга и диагностики явились высокочастотные колебания в клетях полосовых станов холодной прокатки. Внезапное появление вибраций, выражавшееся в «гудении» стана, сопровождалось дефектом на готовой полосе в виде поперечных светлых и темных полос, чередующихся с шагом 25–50 мм [42]. В таких случаях оператор стана прибегал к снижению скорости прокатки. Задача состояла в том, чтобы не только установить момент возникновения вибраций, но и предупредить о времени их возможного появления.

На пятиклетевом стане холодной прокатки фирмой Voest–Alpine Stahl Linz в 1998 г. введена в эксплуатацию система контроля высокочастотных колебаний совместно с контролем главного привода клетей [10]. Вибросигналы с рабочих и опорных валков

каждой клетки подвергаются специальной экспертизе и классифицируются по следующим типам: вибрации (третья гармоника), высокочастотные колебания (пятая гармоника) и биение валков. При первых признаках появления опасных для оборудования высокочастотных колебаний производится автоматическое уменьшение скорости главного привода. Контролю подвергались все редукторы, шпиндели и подшипники всех клетей, включая моталки. В главном меню системы схематично изображены все контролируемые узлы оборудования с указанием мест расположения датчиков. Их цветопоказания (зеленый – желтый – красный) отображают степень состояния оборудования. Предусмотрен самоконтроль путем тестирования всех датчиков и линий связи. Для определения степени повреждения используются как стандартные оценки в соответствии с нормативами, так и соответствующие показатели с учетом вида оборудования (редуктор, подшипниковый узел, шпиндель).

На сервере предусмотрена архивация, визуализация и подготовка информации для выдачи сетевым клиентам. По графической поверхности можно представить необходимые базисные установки: определение аварийных пороговых значений, реакции на различные события (превышение пороговых значений, отказ датчиков и др.), стартовые условия, обслуживание банков хранения данных. Интересным моментом является то, что предусмотрена общая оценка состояния оборудования в целом с помощью одной величины – циклического диагностического числа, суть которого не раскрывается. Применение системы позво-

лило уменьшить воздействие колебаний на работу оборудования и качества проката.

Подобная система в 2000 г. введена в эксплуатацию на стане горячей прокатки фирмы Voest–Alpine Stahl Linz для контроля редукторов. Установленная на реверсивной четырехвалковой клети стана горячей прокатки полосы система диагностики позволяет обнаруживать дефекты на опорных валках. Датчики установлены не в подушках прокатных валков, а на верхней траверсе клети. Система успешно функционирует несмотря на высокий уровень помех в процессе эксплуатации и низкое число оборотов валков при больших усилиях прокатки. Только на стадии пробного запуска были обнаружены две неполадки и проведен своевременный ремонт оборудования. С помощью датчиков вибраций, установленных на кронштейне подшипника, обнаружены дефекты на ножах линий продольной резки и обрезки кромок. При нарушении режима работы ножей уровень вибрации многократно перекрывает полезный сигнал при нормальной работе. Выделение диагностического признака осуществляется с помощью соответствующих фильтров. При обнаружении дефекта на ножах автоматически подается сигнал тревоги на пульт оператора.

Специально для прокатных станов фирмой Mannesmann Demag AG Metallurgie разработана система наблюдения RoCoCo [6]. Главная цель системы заключается в своевременном распознавании критических состояний оборудования, которые могут влиять на качество проката. Система базируется на трех измерительных системах:

- Mi DaS (Mill Diagnostic System) – система наблюдения за колебаниями;
- DTECT– система наблюдения за работой подшипников и диагностики редуктора;
- TAS (Torgue Analising System) – система наблюдения за вращающимися моментами.

Предусмотрена высокая степень модульности и совместимость измерительных систем с учетом программных средств и аппаратной части. Это позволяет оптимально приспособлять систему RoCoCo к отдельным клетям, непрерывным группам клеток или многоклетевым прокатным станам и учитывать требования эксплуатационников. Стандартные протокольные связи позволяют подсоединять систему к различным системам автоматизации. Каждая измерительная система имеет свою собственную ЭВМ и систему регистрации данных.

Система MiDaS предназначена для регистрации и анализа колебаний клеток, в частности, типа «гудение» или «дрожание». Колебания регистрируются в режиме он–лайн при помощи трехосевых сенсоров ускорения, установленных на подушках рабочих валков. По одному каналу на верхнем и нижнем валке контролируется допустимый уровень вибраций, их сигналы подводятся к соответствующим расшифровываю-

щим алгоритмам. Колебания можно измерять с частотой до 10 кГц и представлять в зависимости от времени и частоты. В системе для анализа сигналов используются вторичные информативные параметры – частота вращения валков и усилие прокатки, а также данные о диаметре валков и о подшипниках качения.

Интересной особенностью системы является то, что сформированные на основании анализа данных измерений информативные характеристики и признаки относятся не только ко времени регистрации, но и привязываются к соответствующей части полосы (рулона). В системе MiDaS осуществлено наблюдение за предельными кривыми применительно к конкретному материалу, что дает возможность автоматически распознать рулон, прокатанный с превышением какого-либо уровня колебаний, и затем проконтролировать его качество. При помощи системы MiDaS можно накопить большой опыт в области поиска причин неполадок, связать их с качеством проката и разработать соответствующие мероприятия. Сообщается, что система неоднократно зарекомендовала себя при поисках причин образования дефекта ребристости на холоднокатаной полосе.

Система TAS предназначена для наблюдения за моментом вращения в главных приводах клетей и моталок. Для этого используются тензометрические датчики, наклеиваемые на вал. Равномерность изменения (постоянство) крутящего момента свидетельствует об оптимальности технологического процесса и отсутствии неисправностей в оборудовании. Частота регистрации момента до 1000 Гц, что более чем достаточно, учитывая расчетный спектр собственных колебаний (10–100 Гц). Программное обеспечение позволяет осуществлять быстрое преобразование Фурье, для каждого цикла нагружения запоминать максимальное и среднее значение, что в результате позволяет делать заключение о состоянии оборудования и следить за качеством.

Система ДТЕСТ представляет собой самостоятельную систему диагностики подшипников качения и редукторов и позволяет наблюдать за большим числом подшипников. Обработка сигнала ведется по методу огибающей. Поврежденный подшипник валка можно выявить на такой ранней стадии, что его удастся заменить при ближайшей плановой остановке стана. Система ДТЕСТ рассчитана на подключение до 256 сенсоров к одному компьютеру. Измерения проводятся циклически через определенные промежутки времени, дополнительно снимаются значения частоты вращения подшипника и нагрузки. Усилие прокатки постоянно контролируется.

В целом в системе RoCoCo содержатся общие функции изображения, запоминания сигнала, формирования банка данных, визуализации, алгоритмы обработки сигналов, анализа предыстории превышения предельных кривых. Используя хранящиеся в банке данных сигналы можно, в частности, определить:

- площадь под кривой сигнала колебаний как критерий равномерности процесса прокатки;
- максимальное значение крутящего момента и участок полосы, на который пришлось наибольшие колебания момента или вибраций;
- число сообщений тревоги, посланных вследствие превышения предельных значений;
- наибольший уровень колебаний по всей длине рулона;
- записи по классам оценки остаточной долговечности элементов оборудования.

Эти характеристики загружаются в банк данных и остаются в распоряжении для последующих более подробных анализов и определения тенденций.

Таким образом в системе RoCoCo объединен ряд систем для наблюдения за работой прокатного стана в общую диагностическую систему, позволяющую проводить анализы, относящиеся к ремонтам и качеству продукции. Автор [6], подводя итоги изложенным материалам, отмечает, что диагностика машин и наблюдение за качеством уже не находятся на лабораторной стадии, а все шире внедряются в промышленное производство. В заключение автор считает необходимым отметить, что стоимость системы не превышает стоимости нескольких рулонов из обычной стальной полосы.

Контроль технологии и состояния оборудования на станах холодной прокатки открывают большие возможности обеспечения качества проката [8]. В круг задач системы контроля входят:

- описание состояний технологического процесса, оборудования и продукции, отнесенное к определенному времени и длине полосы;
- прогнозирование состояний процесса, оборудования и продукции;
- контроль состояний процесса, оборудования и продукции;
- выработка мероприятий, предотвращающих вредные последствия отклонений от заданных параметров;
- подготовка всей информации для диагностики причин неполадок, а также собственно диагностирование.

На пятиклетевом непрерывном стане холодной прокатки установлена непрерывно действующая система контроля оборудования KAUS [8]. Наряду с современными методами архивирования, визуализации и обработки информации предусмотрены варианты применения автоматических методов для определения всех параметров в соответствии с длиной прокатываемой полосы и для ввода информации в компьютер. Предусмотрено составление пользователем любых новых сценариев и запоминание их для будущих случаев применения. Использование системы KAUS наряду с снижением затрат вследствие быстрого обнаружения причин неполадок позволяет выявить средние – и долгосрочные взаимосвязи между основными параметрами процесса, состоянием оборудования и качества продукции. Вместе с тем отмечается, что с по-



мощью системы KAUS можно получить только общие предпосылки для экономической оценки влияния использования системы контроля за технологическим процессом и оборудованием на качество продукции.

Приводится второй пример, когда в отличие от системы KAUS внедренные системы контроля с вмешательством в процесс позволяют однозначно и в численном выражении определить экономический эффект от обеспечения должного качества. Он относится к упомянутой ранее проблеме поперечной волнистости полосы, возникающей при холодной прокатке. Диагностика вибраций и расчеты на модели показали, что поперечные волны возникают вследствие вибрации валков «Буммер-вибрация», т.е. колебания верхнего валка по отношению к нижнему в противофазе с частотой 100–180 Гц вызывает явно выраженную периодическую разнотолщинность. Разработана система раннего предупреждения о поперечной волнистости с автоматическим вмешательством в процесс на основании контроля за процессом прокатки и состоянием вибрации валков.

Фирма Voest-Alpine Stable Linz совместно с Институтом промышленных исследований разработала и смонтировала такую систему на дрессировочном стане. Целью было снижение поперечной волнистости полосы, которое должно привести к предотвращению задержек с отгрузкой, снижения сортности, брака и рекламаций. Сумма убытков от всего этого составила около 230 тыс. марок в год. Внедрение контроля позволило сэкономить около 170 тыс. марок в год на смене валков [8]. Здесь же приводится пример эффективности внедрения устройства, снижающего появление такого дефекта, как периодическая продольная разнотолщинность полосы, прокатываемой в непрерывной группе клеток стана холодной прокатки – число обрывов полосы за год снизилось на 10. При стоимости каждого обрыва около 50 тыс. марок годовой экономический эффект составляет около 500 тыс. марок.

На непрерывном пятиклетевом стане холодной прокатки зафиксированы акустически слышимые колебания типа гудения с частотой около 125 Гц [7]. С целью длительного и постоянного обеспечения качества на стане установили систему наблюдения за колебаниями. Представление измеренного сигнала колебаний в координатах частота колебаний – частота вращения валков (в виде «водопада») с учетом времени прокатки рулона позволяет найти и идентифицировать возмущающие частоты. Сообщается, что один обрыв полосы на стане холодной прокатки приводит к издержкам порядка 100 тыс. марок. Если принять, что за год вследствие возмущающих колебаний происходит 10 обрывов полосы, то расчет показывает, что система наблюдения с предупреждением о колебаниях типа гудение окупится за несколько недель или месяцев.

Система диагностики агрегатов (DIAL) основана на базе знаний и позволяет операторам прокатных станов быстро и квалифицированно реагировать на ситуацию при неполадках [4]. В базу включены знания экс-

пертов (операторов и мастеров прокатных станов, руководства цеха, конструкторов, изготовителей оборудования), технологические схемы, математические модели, результаты ранее выполненных анализов процесса, протоколы неполадок, эксплуатационная документация и специальная техническая литература, подверженная соответствующей обработке и интерпретации. Характерно, что знания о процессе и опыт, накопленный при эксплуатации прокатного стана, изложены и документированы в экспертной системе DIAL на естественном языке. При возникновении нештатной ситуации или неполадки в сеть посылается соответствующий сигнал и консультативная функция экспертной системы запускается автоматически. Данные измерений о процессе, используемые в системах автоматики и зарегистрированные сетью, принимаются экспертной системой в режиме он-лайн для выработки диапазона на основе базы данных. Сообщается, что при внедрении опытного образца удалось подтвердить функциональную работоспособность принятого решения по автоматизации для постоянного наблюдения за качеством и диагностики дефектов при производстве бесшовных горячекатаных труб. Следует отметить, что положительные результаты в рассмотренной работе получены без использования данных виброизмерений, привлечение которых существенно повысило бы ее эффективность.

Сотрудниками ИЧМ на начальном этапе работы системы вибрационной диагностики, установленной на проволочном стане 150 Макеевского металлургического комбината, выполнен анализ информативных параметров и признаков высокочастотного чистового блока. Полученные результаты показали многообразие и многоплановую взаимосвязь вибропараметров в различных точках блока и сложность построения правил распознавания технического состояния конкретных узлов блока.

Высокой информативностью обладает крутящий момент в линии главного привода. Непрерывная его регистрация и анализ позволяют сделать вывод о качестве технологического процесса и состоянии оборудования. Однако измерение момента по электрическим параметрам приводных двигателей не позволяет достоверно определять динамические пики нагрузки и составляющую момента на частотах собственных колебаний механической системы линии привода (10–20 Гц). В связи с этим для диагностических целей предлагается использовать системы измерений крутильных колебаний [5,7,24]. При этом отмечается, что наряду с моментом необходимо получать и другие сигналы, в частности, частоту вращения привода, силы тока электродвигателя, усилие прокатки.

Данные одновременной записи крутящего момента и температуры блюмов во времени в рельсобалочной клетки позволили установить, что поломка валков произошла из-за постепенного роста нагрузки в линии привода, обусловленного понижением температуры от блюма к блюму [7]. Аварийное отключение не предусматривалось, вследствие

чего и произошла авария. Запись крутящего момента на верхнем и нижнем шпинделе клетки №2 семиклетевого широкополосного стана горячей прокатки показала, что причиной поломки зубчатого шпинделя стало существенно неравномерное распределение моментов между верхним и нижним валком. Сообщается [7], что окупаемость капиталовложений в применяемую систему для наблюдения за агрегатами с измерением крутящего момента была достигнута примерно за 14 месяцев.

Знание изменения крутящего момента во времени открывает широкие возможности регистрации и совершенствования режимов работы оборудования и диагностики его состояния:

- оптимизация профилей деформационно–скоростного режима между проходами или клетями, при прокатке новых профилей или совершенствовании технологии;
- регистрация и анализ событий, являющихся причиной аварий;
- установление тенденций для выявления скрытых причин неполадок;
- оценка остаточной долговечности деталей, опасных по усталостному разрушению с целью организации ремонтов в зависимости от повреждения.

Для изучения этих возможностей на главных приводах четырех клеток рельсобалочного стана №2 фирмы "Ньюкор–Ямато Стил" на верхнем и нижнем шпинделях установили измерительное устройство – «электронный преобразователь вращающего момента» (ЕТС) [24]. Восемь сигналов крутящего момента передаются в автоматизированный модуль наблюдения за состоянием клеток. Вместе с ними используется усилие прокатки, частота вращения привода, сила тока в якоре, температура раската и др. С момента пуска в эксплуатацию прокатного стана в 1993 г. система успешно применяется для анализа неполадок, оценки загруженности клеток и как средство управления при планировании осмотров узлов оборудования и проведения ремонтных мероприятий.

### **Заключение.**

Представленный анализ публикаций свидетельствует об активном развитии вибрационной диагностики оборудования прокатных станов и эффективности используемых систем. В то же время необходимо отметить ряд моментов.

В опубликованных работах практически не раскрываются используемые способы диагностирования даже в тех случаях, когда они основаны на общеизвестных методах корреляционного и спектрального анализа. Тем более это относится к правилам распознавания технического состояния за исключением общеизвестных, полученных для стандартных условий механизмов (рольганги, подшипники, зубчатые зацепления), вращающихся с постоянной частотой. В целом отмечается, что развитие вибродиагностики находится на начальном этапе, а возможности методов вибродиагностики в настоящее время далеко не исчерпаны.

На отечественных металлургических предприятиях организовываются

подразделения технической диагностики и мониторинга оборудования, в частности прокатного. Имеются примеры успешного практического решения частных задач [12,43,44,45,46]. В последние годы активно развиваются теоретические вопросы диагностирования и мониторинга оборудования [12–18,25,27,30,31,43–46]. Вместе с тем необходимо расширение и углубление исследований вибродинамических процессов в тесной связи с технологическим процессом и мониторингом нагрузок и режимами работы действующих станов. Такая основа залог успешной разработки новых и эффективных методов, способов, средств и систем вибрационного диагностирования прокатных станов. Успешная диагностика не может быть осуществлена только за счет приобретения современной системы. Необходимы обширные знания в области работы прокатного оборудования и вибродинамических процессов и высокая компетентность специалистов эксплуатирующих и обслуживающих прокатные станы. В этой части исследователи надеются на понимание со стороны руководства металлургических предприятий и их поддержку отечественных исследователей и разработчиков вибродиагностических систем прокатного оборудования.

Анализ отказов оборудования прокатных клетей и экономических потерь, примеры успешного применения вибродиагностических методов и средств позволяет выделить одно из актуальных направлений дальнейшего развития отечественных методов и способов вибрационной диагностики и мониторинга прокатного оборудования, состоящее в использовании вибродинамических процессов в переходных режимах работы, в частности, при захвате заготовки валками, у истоков исследования которых стоял С.Н.Кожевников.

1. *Парчевский А.Б., Л.К. Тарасова.* Диагностика металлургического оборудования на заводах Японии. // Бюлл. Черная металлургия. – №7. – 1984. – С.26–34.
2. *Браун О.М.* Экономические аспекты ремонтного обслуживания в черной металлургии. // Черные металлы. – № 1. –1988. – С.3–8.
3. *Диагностика* состояния высоко нагруженных чистовых блоков проволочного стана./ Ж.Пекельс, К.Миттен, А.Шлессер и др. // Черные металлы. – № 6.–1992.– С.36–41.
4. *Гайгемюллер Г., Клаптрот У., Лейтриц У.* Диагностика агрегатов в прокатных цехах // Черные металлы.– № 12. –1996. –С.48–50.
5. *Шварц М., Вайссбурх Ф.* Анализ работы оборудования на проволочном стане фирмы Вальдцрат Хохфельд // Черные металлы. – Январь 1996. – С.30–37.
6. *Аренс М.* RoCoSo–модульная система наблюдений за работой прокатных установок // Черные металлы. Март 1999.–С.18–23.
7. *Мекел Дж., Геротт В., Аш А.* Применение компьютеризированных систем наблюдения и диагностики на прокатных станах. // Черные металлы, – №12. – 1999, – С.53–60.
8. *Бёттнер Д., Унгерер В.* Возможности обеспечения качества путем контроля технологии и состояния оборудования на станах холодной прокатки. // Черные металлы. – № 12. – 1997. – С. 20–26.

9. *Шефер Х.–Ю.* Состояние диагностики машин в черной металлургии // Черные металлы. – Июнь. 2001. – С. 28–31.
10. Системы диагностики и мониторинга в черной металлургии / Х.Айгнер, Г.Хелекаль, В.Хохрайтер и др. // Черные металлы. – Июнь 2001. – С. 41–45.
11. *Зайцек Х, Айгнер Х., Хелекаль Г.* / Широкий мониторинг листопрокатного завода Voestalpine Stahl/МЕТЕС Congress–2003, Dusseldorf, 16–20 June, 2003. – С. 419–422.
12. *Седуш В.Я., Сидоров В.А., Ошовская Е.В.* Определение вибраций редукторов металлургических машин. // Защита металлургических машин от поломок. Мариуполь. –1997. –Вып. 2. – С. 151–154.
13. *Большаков В.И.* Определение нагрузок и диагностика металлургического оборудования // Сб. трудов Международного научно–технического симпозиума. Львов. –2001. – С. 78–79.
14. *Веренев В.В.* Диагностика технического состояния оборудования по данным вибродинамических процессов в переходных режимах работы прокатных станов. / Труды 4–го Конгресса прокатчиков. МАО ”Черметинформация”. – 2002. – С.273–276.
15. Новые подходы к вибродиагностике оборудования прокатных клетей. / В.В.Веренев, В.И.Большаков, Д.П.Кукуй и др. // Сб. научных тр. НГУ №19, том 5 – Днепрпетровск: Национальный горный университет, 2004. – С.110–115.
16. Использование особенностей технологии и конструкции прокатных станов с целью разработки диагностических моделей и алгоритмов. / В.В.Веренев, В.И.Большаков, А.Ю.Путноки и др. //Материалы 12–ой ежегодной международной конференции «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики», 20–24 сентября, 2004 г., г. Ялта. – С.16–17.
17. *Веренев В.В., Большаков В.И., Крот П.В.* Исследование и разработка систем вибродиагностики прокатного оборудования // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. научных трудов. – Вып.5. –К.: Наукова думка, 2002.– С.367–373.
18. *Применение нестационарных режимов работы прокатных станов для диагностики зазоров./ В.И. Большаков, П.В. Крот, В.В. Веренев и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. Научных трудов. – Вып. 9. – К.:Наукова думка, 2004.– С.208–219.*
19. *Добронравов С.Н., Лямбах Р.В.* Технические средства и системы диагностики металлургического«оборудования. // АО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия». –№ 3. –1991. – С 31–33.
20. *Кияновский Н.В., Барков А.В.* Средства и системы для безразборной оценки технического состояния горно–металлургического оборудования. // АО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия». –№ 1.–1992. –С.23–27.
21. *Седуш В.Я., Сопилкин Г.В., Сидоров В.А.* Современные методы и средства диагностики механического оборудования. // АО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия». –№10. –1991. –С.41–47.
22. *Создание и внедрение систем вибродиагностики механического оборудования металлургических производств./ В.В.Бодров, Б.А.Дубровский, В.И.Мартынов и др. // Труды 4–го конгресса прокатчиков (г. Магнитогорск, 2001 г.). –М.: Черметинформация. 2001. – С.270–273.*
23. *Гёр Т., Люльф Г.* Наблюдение за агрегатами в черной металлургии. // Черные

- металлы. – Июнь 2001. – С.36–40.
24. Хон В., Зеелигер А., Тимтнер К. Контроль работы главных приводов клетей на современных рельсобалочных станах. // Черные металлы. – Апрель 1996. – С.40–45.
  25. Управление техническим состоянием машин по результатам диагностирования./ В.Я.Седуш, В.А.Сидоров, Е.В.Ошовская и др. // Metallurgical and Mining Industry, –№ 5. – 2000. –С.86–88.
  26. Кохан Л.С. Системы диагностики металлургического оборудования (вибро- и теплодиагностика). // Институт «Черметинформация». Обзор. Информ. Сер. «Эксплуатация и ремонт металлургического оборудования». –М, 1991. Вып. 2. 25 с.
  27. Белодеденко С.В., Биличенко Г.Н., Цапко В.К. Применение систем мониторинга технического состояния узлов прокатного оборудования. // Metallurgical and Mining Industry. – № 2–3. – 1999. – С.67–69.
  28. Определение технического состояния клетей стана 2500 ОАО ММК по результатам исследования добротности колебаний валковой системы // Производство проката, 2002, №5. – С.38–42.
  29. Автоматическое диагностирование вибраций и управление скоростным режимом на стане 2030 холодной прокатки. / В.А.Пименов, С.С.Колпаков, Ю.А.Цуканов и др.. // Производство проката. –1999. –№ 11. – С.43–48.
  30. Техническая диагностика механического оборудования. / В.А.Сидоров, В.М.Кравченко, В.Я. Седуш и др. – Донецк. –2003. –125 с.
  31. Діагностування механічного обладнання металургійних підприємств. / В.Я.Седуш, В.М.Кравченко, В.А.Сидоров та ін. Монографія. –Донецьк. – 2004.– 98 с.
  32. Использование марковских процессов при оценке технического состояния подшипников рольгангов / В.Б.Крафт, Г.В.Сопилкин, В.А.Сидоров и др.. // Производство проката. –2000. –№ 7. – С.32–36.
  33. Информационная система управления производством и качеством продукции на стане 2000. / А.А.Морозов, А.Ф.Сарычев, К.А.Лисичкина и др. // Сталь. – №12. – 2004. – С.61–64.
  34. Этпле У. Автоматическое генерирование диагностической информации. // Черные металлы. –Апрель 2004. – С.57–62.
  35. Оценка состояния технологического оборудования станов на основании данных о дефектах жести. / В.И.Илькун, В.И.Куликов и др. // Сталь.– №1. –1997. – С. 34–37.
  36. Мюллер В. Обзор повреждений в приводах прокатных станов // Черные металлы. –1996. – № 25–26.– С.9–14.
  37. Анализ причин аварий оборудования листопрокатных станов и меры по их предупреждению. / А.Ф.Крисанов, В.Ф.Кузурман, Б.Н.Виноградов и др.: //Обзор, информ. Ин-т «Черметинформация». – М. –1985. –С.36.
  38. Виды повреждений зубчатых передач металлургических приводов. / В.В.Белоха, Б.П.Рябов, М.Ю.Бишко и др. // Институт «Черметинформация». Обзор. Информ. Сер. «Эксплуатация и ремонт металлургического оборудования». –М. –1990. – Вып. 2. –15 с.
  39. Аш А., Айгнер К. Повышение эффективности эксплуатации широкополосного стана горячей прокатки благодаря использованию современных элементов привода // Черные металлы. –2001.– Март – С.28–36.
  40. Повышение работоспособности прокатного оборудования за счет снижения

динамических нагрузок / Б.Е.Житомирский, С.Д.Гарцман, А.А.Филатов и др. // *Металлургическое оборудование (ЦНИИТЭИтяжмаш)*. – М: –1982.– № 33.– 47 с.

41. *Суворов И.К., Тиц Ю.В., Плахтин В.Д.* Исследование надежности оборудования непрерывного широкополосного стана 1700 горячей прокатки // *Сталь*. –1976. –№2. – С. 152–155.
42. *Веревев В.В., Кукушкин О.Н., Зиновьев Е.Г.* Влияние динамических процессов в оборудовании полосовых станов на качество и выход годного: // *Обзор по системе Информсталь*. Ин-т «Черметинформация». –1990. –Вып. 4(361), – 33 с.
43. Опыт диагностирования приводов трубопрокатных станов. / В.Я.Седуш, В.А.Сидоров, С.И.Авакумов и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, –№ 4. –1993. – С.67–69.
44. *Сушко А.Е., Демин М.А.* Вибродиагностика в системах технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования металлургических производств. // *Вибрация машин: измерение, снижение, защита*. Донецк, ДонТУ. –2005. –№ 1. – С.6–9.
45. *Роль технической диагностики в организации ремонтов на металлургических предприятиях.* / В.Я.Седуш, С.И.Авакумов, В.А.Сидоров, Н.В.Дорофейская // *Металлургическая и горнорудная промышленность*.– № 4.–1998, –С.32–34.
46. *Кіяновський М.В.* Віброакустична діагностика і попередження спрацювання зубчатих передач механізмів гірничо–металургійного обладнання. // *Вибрация машин: измерение, снижение, защита*. Донецк, ДонТУ. –2005. –№ 3. – С. 15–18.

*Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. С.М.Жучковым.*