

**П.В. Крот**

## **ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ**

Изложены научно–технические проблемы создания автоматизированных систем управления (АСУ) техническим обслуживанием и ремонтами (ТОиР) на примере стана 1680 горячей прокатки ОАО «Запорожсталь».

### **Состояние вопроса.**

В настоящее время на Украине износ основного оборудования прокатного производства достиг критического уровня (более 60–80% проектного ресурса). Несмотря на появление частных собственников на всех крупных металлургических предприятиях, проведение масштабных мероприятий по реконструкции основных фондов сейчас только начинается в ограниченных объемах на некоторых металлургических переделах. Прежде всего, это касается некоторых типов механического оборудования, электроприводов, автоматизированных систем управления отдельными агрегатами и технологическим процессом в целом.

Внедрение в сложные для отечественной металлургии 90–е годы ресурсосберегающих технологий транзитной горячей прокатки по системе слябинг–стан (без предварительного нагрева слябов в печах) и современные мировые тенденции выпуска тонкого горячекатанного листа вызвало за счет большего обжатия в клетях значительное повышение нагрузок, вибрации, отказов оборудования, затрат на его обслуживание и аварийные простои.

Повышенные вибрации устаревшего механического оборудования отечественных станов холодной прокатки и отсутствие современных автоматизированных систем управления не позволяют наряду с другими факторами увеличить объемы производства качественной продукции, например для автомобильной промышленности. Основная причина снижения эффективности производства за счет механического оборудования – это простои при внезапных отказах узлов линий привода прокатных станов от механических перегрузок, при усталостном разрушении или ошибках операторов. Для снижения риска аварийных перегрузок и поломок оборудования, освоения производства качественной продукции возникает необходимость, наряду с контролем технологического процесса, осуществления текущего наблюдения (мониторинга) за состоянием оборудования в процессе эксплуатации.

Мировые тенденции развития систем управления крупными агрегатами показывают, что в условиях постоянной интенсификации производства (по скорости обработки, уровню нагрузок) постепенно стираются грани между автоматизированными чисто управляющими

системами и системами текущего наблюдения (мониторинга и диагностики) за работой оборудования, т.к. от его состояния зависит надежность и эффективность не только одного из агрегатов, а и всей непрерывной технологической цепочки.

Исследования горно–металлургического оборудования, показывают, что затраты на изготовление новой техники составляют только 7–10%, а на ремонт и поддержание в рабочем состоянии – 90–93% капитальных затрат. Затраты на ремонт оборудования составляют 18–20% в себестоимости продукции, в ремонтной службе занято 30–35% общей численности промышленного персонала.

Затраты на техническое обслуживание, текущие и капитальные ремонты оборудования без мониторинга состояния составляют 29, 57 и 14% его первоначальной стоимости, а при использовании мониторинга (диагностики) соответственно уменьшаются – 20, 6 и 10%.

Стоимость запасных частей для основного металлургического оборудования составляет порядка 5–8 долл./кг и более. При аварийных отказах отдельных элементов оборудования, как правило, выходят из строя несколько смежных деталей и узлов. В дальнейшем при интенсификации технологий прогнозируется увеличение затрат на ремонты и обслуживание оборудования. По данным ассоциации ремонтных предприятий Украины, 70% общего объема работ приходится на горно–металлургический комплекс при ежегодном увеличении объема на 20–25%. Это, наряду с другими факторами, влияющими на себестоимость продукции, может снижать конкурентоспособность отечественной продукции на внешнем рынке.

В Законе Украины «О приоритетных направлениях инновационной деятельности на 2003–2013 годы» в статье 7 (стратегические направления) и статье 8 (среднесрочные направления) сказано [1]:

п.2 «Развитие высококачественной металлургии, средств диагностики, оборудования и технологии металлургического производства».

п.3 «Информационные технологии контроля и управления объектами базовых технологий».

Применяемые на предприятиях металлургической отрасли автоматизированные системы организационного управления производством (САМ системы – *Computer Aided Management*) при управлении ТООР оборудования, как правило, решают отдельные задачи по формированию портфеля заказов на покупку запасных частей и оптимальную загрузку станочного парка собственной ремонтной базы (внедрено на Донецком металлургическом комбинате). Несмотря на очевидную целесообразность накопления статистики по отказам и реальным ресурсам работы отдельных узлов такая функция реализована только в достаточно развитых образцах зарубежных систем. Хотя планирование закупок крупных дорогостоящих узлов оборудования линий привода (коренные муфты, валы и колеса редукторов, шпиндели)

может дать существенную долю экономии затрат по запасным частям даже для крупных предприятий. В настоящее время в результате отсутствия данных об остаточных ресурсах узлов и большой вероятности внезапных отказов, службы эксплуатации прокатных станов вынуждены держать на складах двойные комплекты запчастей основных агрегатов линий привода, т.к. срок исполнения заказов сторонними поставщиками оборудования может достигать 6–ти месяцев и более.

При замене главных электроприводов клетей поставщики обеспечивают их системами автоматического управления (САУ) нижнего уровня, которые выполняют одновременно функции мониторинга и диагностики.

Поставщики механического оборудования линий привода, например НКМЗ, включают в поставку только чертежи с указанием рабочих крутящих моментов или допускаемых усилий нагрузки.

Индивидуальность конструкции основного оборудования прокатных станов вызывает при разработке структуры баз данных и интерфейса АСУ ТООР верхнего уровня необходимость длительной адаптации новых систем к существующим условиям производства. Это могут быть, как отдельные системы, так и интегрированные в АСУТП модули, содержащие «образ оборудования» [2].

В период отсутствия достаточных средств на комплексные решения по автоматизации прокатного передела создавались локальные системы для решения текущих проблем управления производством. В настоящее время при внедрении комплексных технических решений возникают определенные трудности интеграции имеющихся систем и вновь создаваемых на основе современных средств вычислительной техники и сетевого обмена данными.

Существующие на мировом рынке достаточно дорогостоящие (300–500 тыс долл. США и более для одного многоклетьевого прокатного стана) стационарные автоматизированные системы вибродиагностики и мониторинга нагрузок оборудования пока не имеют примеров успешного применения в металлургической отрасли на Украине. Известны отдельные данные по использованию переносных средств диагностики и наблюдения на вспомогательном оборудовании.

На рынке Украины предлагаются многочисленные средства вибрационного контроля состояния оборудования импортного производства (Россия и дальнее зарубежье). Отечественная серийная аппаратура (завод «Биофизприбор» г. Львов, ПО «Веда» г. Киев) для создания стационарных автоматизированных систем контроля оборудования при той же стоимости, значительно уступает по показателям качества и надежности. Хотя постепенно появляются небольшие отечественные предприятия, где в виду малого спроса и специфичности данного вида аппаратуры (по сравнению со стандартным

средствами измерения) ведется штучная сборка отдельных экземпляров переносных систем контроля вибрации (НИИАЧермет).

Действующие зарубежные и отечественные АСУ позволяют получать и накапливать большие массивы текущей информации о параметрах технологического процесса и нагрузках электроприводов оборудования. Эта информация используется, прежде всего, по прямому назначению в системе регулирования и управления процессом.

Исследования специалистов по динамике металлургического оборудования Института черной металлургии НАН Украины, проводимые на стане 1680 горячей прокатки ОАО «Запорожсталь», направлены на совершенствование методов динамического анализа, статистических расчетов нагрузок, которые позволяют повысить эффективность использования накапливаемой в цифровом виде информации для улучшения режимов эксплуатации оборудования и совершенствования технологии.

Использование наукоемких разработок Института по идентификации и моделированию технологических и механических систем прокатных станов позволяет расширить функциональные возможности действующих АСУТП. Без значительных дополнительных затрат появляется возможность решать задачи оптимального управления с точки зрения минимальной вероятности отказов оборудования в процессе эксплуатации на основе методов мониторинга нагрузок и вибродиагностики [3].

Разрабатываемые для станов горячей и холодной прокатки технические решения по управлению ТОиР на основе моделей согласуются с существующим за рубежом сравнительно новым направлением, которое пока не нашло должного развития и применения на отечественных предприятиях, как при освоении новых технологий, так и при модернизации существующего оборудования. Такой подход особенно эффективен, когда имеется достаточно точная модель процесса или оборудования, которая отражает все его особенности. Это позволяет по данным о технологических параметрах из АСУТП не только управлять процессом, но и прогнозировать ресурс основного оборудования (при полном объеме накопления данных о нагрузках).

Проведение исследований при разработке АСУ ТОиР требует учета определенных тенденций, сложившихся в данной области [4], которые заключаются в следующем.

**1. Применение цифровой регистрирующей аппаратуры и компьютерной техники** позволяет:

- вести накопление статистики за многие сутки работы;
- сократить время подготовки и проведения измерений;
- увеличить количество параллельных каналов записи данных;
- использовать видеокамеры для наблюдения за процессом прокатки металла (изгиб и форма передней кромки полос);

- регистрировать быстропротекающие процессы с высокой частотой дискретизации (ударные вибрации до 10 кГц);
- регистрировать параллельно, как числовые, так и символьные данные (комментарии, наблюдения).
- применять одновременно разнотипные датчики (крутящего момента, вибрации, тока, оборотов, температуры).

**2. Разработка собственного программного обеспечения** позволяет:

- получить доступ к файлам дополнительных данных АСУТП, в том числе по сетевому протоколу;
- создавать и вести базы данных о состоянии оборудования, конфигурация которого индивидуальна для каждого стана;
- разрабатывать новые алгоритмы цифровой обработки данных;
- вести отладку алгоритмов обработки данных в реальном времени.

**3. Разработка и использование компьютерных моделей** позволяет:

- использовать расчетные схемы, где учтены колебания нагрузки в каждом заменяемом узле агрегатов;
- идентифицировать на модели дефекты оборудования (зацепления, подшипники) по данным измерений;
- вести расчет нагрузок оборудования в переходных и стационарных режимах работы.
- вести поиск на моделях информативных признаков для диагностики;
- моделировать износ оборудования линии привода;
- оценивать нормы уровней вибрации в разных точках измерений;
- моделировать условия поломок оборудования.

При создании АСУ ТООР должен применяться системный подход, который учитывает основные этапы разработки и эксплуатации прокатного оборудования.

Совершенствование методов проектирования.

Постоянный рост динамических нагрузок наряду с большим сроком службы широкополосных станов горячей прокатки приводит к необходимости реконструкции основного оборудования линий привода и прокатных клетей. Однако, на место устаревших агрегатов (редукторов, шестеренных клетей), устанавливаются их точные конструктивные копии, которые, как и их предшественники, несмотря на некоторые доработки (увеличенный класс точности, большая контактная прочность зубьев) не выдерживают интенсивных режимов ударной нагрузки.

Такое положение вещей вызвано тем, что стандартные методики, используемые в конструкторской практике для расчета на прочность и усталостную долговечность элементов линии привода, не учитывают их износ (зазоры) и возможный разброс динамической нагрузки при эксплуатации. Применение упрощенного подхода путем введения стандартных поправочных коэффициентов в запас прочности не учитывает динамических свойств линий привода конкретных клетей и не решает проблемы качественного улучшения нагрузочной способности

оборудования. Поэтому необходимо совершенствовать методы динамического анализа и статистического расчета нагрузок, обычные прочностные и кинематические расчеты уже недостаточны.

Агрегаты листопрокатного оборудования в виду его уникальности следует проектировать и оценивать, как составную часть более крупной системы механизмов – всей линии привода. В первую очередь это касается редукторов и шестеренных клетей – основных агрегатов линии привода, совершающих преобразование и передачу механической энергии от электропривода к валкам. Существующие методики расчета агрегатов линии привода при выборе передаточных отношений и податливости отдельных деталей не учитывают динамические свойства всей линии в целом. Если агрегат проектируется отдельно, то при установке в линию привода он изменяет свои частотные свойства и свойства всей линии в целом, так как становится крупной парциальной системой в крутильной системе.

Наглядным примером сказанного является недавняя реконструкция привода вертикальных валков слябинга 1150 ОАО «Запорожсталь», где вместо одноприводного конического редуктора был установлен четырехприводной прямозубый редуктор. При этом линия привода в целом приобрела нежелательные динамические свойства, что, в сочетании с другими конструктивными недоработками, привело к частым поломкам зубчатых зацеплений редуктора и резкому снижению надежности всей линии привода. Поэтому при реконструкции линии привода (изменение схемы привода, замена редукторов, замена двигателей в клетях и др.) необходимо оценивать влияние на систему в целом.

#### Анализ качества изготовления оборудования.

Растущие требования по увеличению передаваемых нагрузок приводят к укрупнению проектируемых агрегатов. На сегодняшний день масса и размеры узлов крупных листопрокатных клетей находятся на пределе технологических возможностей заводов тяжелого машиностроения Украины, а контактные нагрузки в зубчатых зацеплениях и подшипниковых опорах приближаются к допустимым пределам. Анализ изготовленных на НКМЗ редукторов, поступивших на стан 1680 горячей прокатки ОАО «Запорожсталь», показал разброс контактной твердости зубьев в пределах 15–20%, как по периметру зубчатого венца, так и между двумя параллельными венцами шестерен и колес. Это вызвано технологическими проблемами равномерного термического упрочнения крупногабаритных зубчатых колес, что приводит к снижению контактной прочности зубьев и вынослivosti. Поэтому как изготовителям, так и заказчикам оборудования, необходимы расчетные методы оценки снижения нагрузочной способности в результате неизбежного статистического разброса параметров качества изготовления и уровня действующих нагрузок. Даже очевидное решение по увеличению среднего уровня твердости поверхности зубьев для их

гарантированной контактной прочности может иметь противоречивые последствия в связи с увеличением крутильной жесткости в данной упругой связи линии привода. При наличии раскрытых зазоров это увеличивает динамическую восприимчивость зубчатых зацеплений редуктора к ударным нагрузкам. Возникают также противоречия интересов поставщиков оборудования и заказчиков, когда с целью снижения себестоимости производства прокатного оборудования применяются менее прочные и дешевые марки сталей, а сроки гарантийного обслуживания могут сокращаться до 1-го года. При этом заказчики оборудования, не имея в своем распоряжении систем мониторинга динамических нагрузок, не могут обосновать необходимые пределы прочности отдельных узлов и агрегатов

#### Оценка качества монтажа оборудования.

Для крупногабаритных агрегатов важным фактором надежности является качество монтажа (перекосы подшипников, разность зазоров в опорах, смещение осей валов сопрягаемых агрегатов), что оказывает существенное влияние на эксплуатационную надежность зубчатых зацеплений, как самих редукторов, так и смежных с ними агрегатов (шестеренных клеток, электроприводов). На сегодняшний день существуют оптические методы и средства контроля погрешностей монтажа, но не разработаны методы учета его изменения в расчетах нагрузок, кроме отдельных данных по оценке влияния перекоса осей на распределение статических нагрузок в зубьях и подшипниках. Использование статистической информации о нагрузках при наличии данных о монтажных зазорах позволяет решить задачу оценки качества монтажа с точки зрения прочности и долговечности оборудования.

#### Изменение режима эксплуатации оборудования.

Поломки зацеплений редукторов и подшипниковых опор валов являются наиболее частыми отказами оборудования по сравнению с другими агрегатами и узлами в линии привода и приводят к продолжительным аварийным простоям, потерям прокатного производства. Анализ характера поломок в линиях привода листопркатных станов показывает, что 80% из них – следствие несоответствия пределов прочности этих деталей уровням действующих динамических нагрузок. Без математического описания динамических нагрузок невозможно оценить и обосновать необходимые запасы прочности элементов оборудования. Поэтому проводимые научные исследования по разработке методов статистического расчета динамических нагрузок при разбросе свойств материалов и качества обработки позволят обосновать нормы и правила технической эксплуатации (допускаемые уровни нагрузок и предельного износа).

#### Техническое обслуживание и диагностика.

В связи с мировой тенденцией перехода на обслуживание оборудования по фактическому состоянию, возникает потребность

обоснования допустимых уровней износа (величин зазоров) и предельных состояний (характер и число повреждений) для всех элементов оборудования. Эффективность вибродиагностики для выявления зарождающихся дефектов оборудования напрямую связана с достоверной оценкой действующих нагрузок, так как для прокатных станов отклонения характеристик сигнала вибрации от разброса технологических режимов сопоставимо с его отклонением при наличии дефектов. Для предотвращения аварийных поломок с помощью систем диагностики необходимо установить нормы по уровням вибрации и их связь с технологическими нагрузками и предельными состояниями для конкретных типов оборудования листопркатных станов. Применение разработанных динамических моделей листопркатных станов позволяет быстрее адаптировать существующие методы диагностики и разрабатывать новые.

В целом при разработке и внедрении АСУ ТООР, кроме научно-технических, существует много организационных проблем, которые могут быть решены уже только в процессе освоения системы совместно с производственным персоналом.

#### **Выводы.**

Создание АСУ ТООР требует не только проведения фундаментальных исследований в области динамики и прочности прокатного оборудования, но и знаний в смежных областях (технология прокатки, планирование ремонтов).

Мониторинг нагрузок и диагностика текущего состояния является основой для систем управления технической эксплуатацией оборудования прокатных станов.

Внедрение системы позволяет существенно сократить затраты на закупку запчастей и простои оборудования, повысить эффективность прокатного производства.

1. Закон Украины «О приоритетных направлениях инновационной деятельности на 2003–2013 годы», Киев, 16 января 2003 г., №433–IV.
2. Крот П.В. Информационная система по технической эксплуатации и мониторингу нагрузок стана горячей прокатки // «Автоматизация ремонтной службы металлургического предприятия: структура системы, методы решения ее задач». – Донецк, ДонНТУ, 23–25 янв. 2005.
3. Система мониторинга механических нагрузок стана горячей прокатки 1680 по токовым нагрузкам электроприводов. / П.В. Крот, К.В. Соловьев, В.В. Коренной, и др. // Сб. научных трудов НГУ №19. – Т.5. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2004. – С. 71–76.
4. Исследования по вибродиагностике и мониторингу нагрузок в станах горячей прокатки. / В.И. Большаков, П.В. Крот, и др. // «Вибрация машин: измерение, снижение, защита». – Донецк, ДонНТУ, 2005. – Вып.1. – С.10–13.

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