

Сидоров В.А.

Сушко А.Е.

Дёмин Е.М.

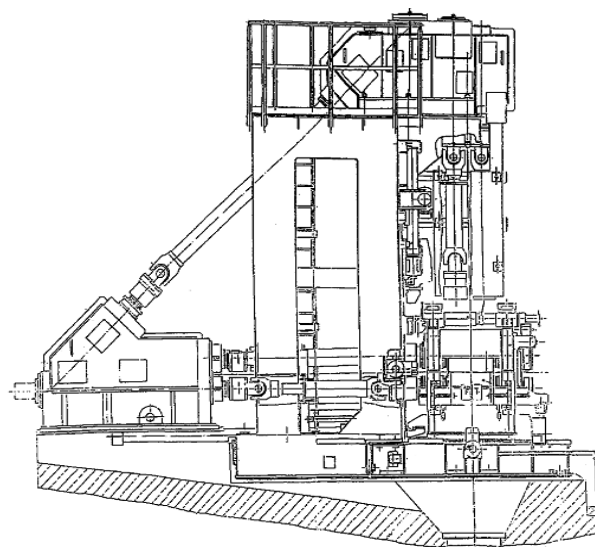
ПРАКТИКА РЕАЛИЗАЦИИ СТАЦИОНАРНОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Прокатное производство является завершающей фазой металлургического цикла, во многом определяя качество выпускаемой продукции и производительность металлургического предприятия. Наиболее ответственным оборудованием прокатного производства, во многом характеризующем его эффективность, является прокатный стан. Современный прокатный стан представляет собой сложную механическую систему, функционирующую в режиме тесного взаимодействия отдельных элементов. Непрерывная прокатка, реализуемая на сортовых прокатных станах, обеспечивает одновременную прокатку слитка в нескольких прокатных клетях, что требует высокого уровня автоматизации производства, контроля параметров проката и безотказной работы механического оборудования.

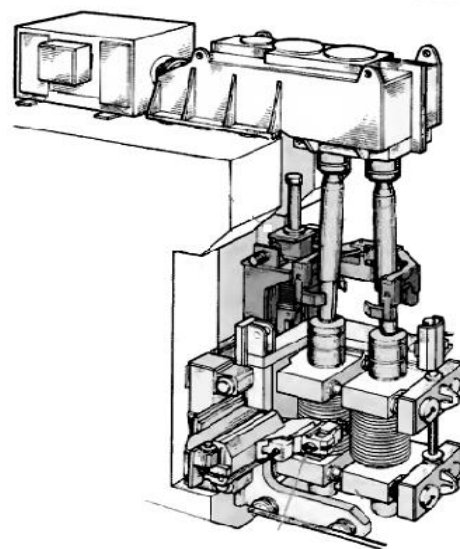
Непрерывный сортовой однониточный стан 390 состоит из 18 рабочих клеток дуо с индивидуальным приводом, в том числе 8 горизонтальных, 4 вертикальных и 6 комбинированных клеток. Клетки установлены последовательно в три группы (черновую, промежуточную и чистовую) - по шесть клеток в каждой. Нагрев исходных заготовок сечением 150×150 мм и 125×125 мм длиной до 12,0 м осуществляется в нагревательной печи с водоохлаждаемыми балками с боковой подачей и боковой выгрузкой заготовок с помощью внутripечных роликов. Стан оборудован холодильником, линиями для регулируемого охлаждения и термоупрочнения готового проката, механизированным участком отделки в потоке.

Максимальная скорость прокатки на стане - 18 м/с, расчетная рабочая - от 2,3 до 17 м/с в зависимости от прокатываемого профилеразмера. Стан оснащен автоматизированными системами регулирования и управления режимами прокатки и работой технологических агрегатов, механизмов и устройств, а также промышленными телекамерами обзора невидимых оператору зон и участков, технологической линии, мониторы которых установлены на соответствующих постах управления. Прокатка на стане осуществляется с минимальным натяжением в черновой и промежуточной группах клеток и с петлерегулированием в чистовой группе.

Основным конструкторским решением, используемым на среднесортном прокатном стане 390, являются комбинированные клетки, имеющие возможность проводить прокатку в горизонтальных или вертикальных валках, что позволяет выпускать широкий сортамент продукции и быстро осуществлять перестройку режимов. В состав рабочей линии комбинированной клетки входят: прокатная клетка; комбинированный с шестерённой клетью коническо-цилиндрический редуктор (рис. 1) оснащённый механизмом переключения; приводной электродвигатель. Мощность привода прокатной клетки 880 кВт, частота вращения входного вала – 300...1000 об/мин, частота вращения выходных валов 10...1000 об/мин.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Общий вид привода валков прокатной клетки:
а) вертикальных или горизонтальных (чистовой группы);
б) вертикальных черновой группы; в) участок промежуточной группы клеток

Фактически стан работает в автоматическом режиме с минимальными плановыми остановками для восстановления работоспособного состояния. Знание фактического состояния механизмов в данном случае необходимо для достижения заданных технологических параметров и длительного сохранения работоспособного состояния оборудования. Конструкция комбинированных редукторов (рис. 2) ограничивает доступ к некоторым узлам механизма, для определения технического состояния. Высокая скорость развития повреждений, необходимость согласования выбранных технологических режимов с техническим состоянием редуктора определяют

необходимость постоянного контроля вибрационных параметров. Состав контролируемого оборудования – это машины и механизмы, непосредственно участвующие в технологическом процессе, отказ которых вызывает остановку стана. Прокатные клетки: черновой группы (клетки 1...6), промежуточная группа клеток (клетки 7...12), чистовая группа клеток (клетки 13...18).

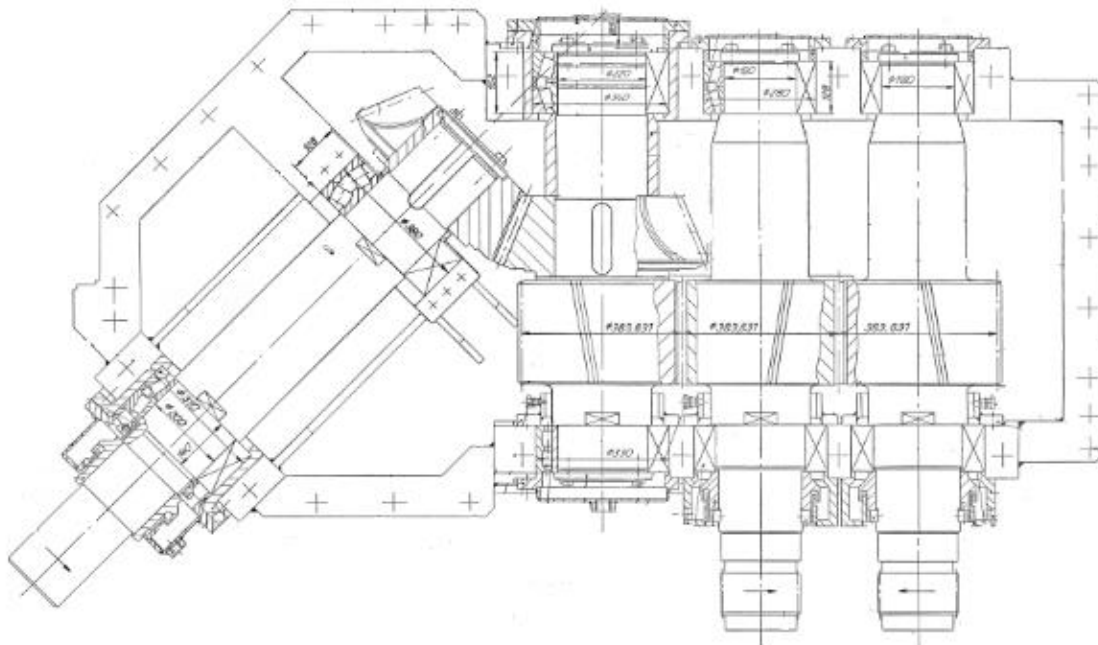


Рисунок 2 - Комбинированный редуктор привода вертикальных валков прокатной клетки среднесортного прокатного стана

Оценка состояния механического оборудования в настоящее время в большей степени 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 [1, 2, 3 и др.], 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. В силу особенностей технологического процесса, на прокатном стане это условие не выполняется. Основными источниками нестационарности являются [4, 5, 6, 7, 8]:

- периодичность процесса проката, при котором циклически чередуются режимы «прокат» и «холостой ход», что приводит к скачкообразным изменениям вибрации в моменты захода заготовки в клетку и выхода из нее, изменению частоты вращения в эти моменты и появлению характерных частот зубозацепления редуктора клетки в момент проката;

- разнообразие сортов проката, что подразумевает разные нагрузки и частоты вращения привода клетки в зависимости от изготавливаемой продукции.

Высокая степень автоматизации, насыщенность механическим оборудованием требует изменения подходов к обеспечению эксплуатационной надежности механического оборудования современных прокатных станов. Безотказная работа комплекса металлургических машин в данном случае, не может быть обеспечена традицион-

ными методами периодических осмотров и диагностирования. Необходимо использование стационарных систем диагностирования с использованием комплекса диагностических параметров. Оценка технического состояния металлургического оборудования, работающего при неопределенном нестационарном нагружении, не может проводиться методами, применяемыми на роторных машинах, работающих в длительном режиме.

Предлагаемое решение на основе системы CMS (UMS) (рис. 3) учитывает особенности диагностики прокатных станов и предполагает поэтапное внедрение и использование комплекса диагностических параметров для постановки диагноза. Цель разрабатываемой системы - повышение долговечности и безотказности эксплуатируемого оборудования прокатных станов за счет своевременного выявления механизмов, имеющих повышенную вибрацию, определения и устранения (путем проведения ремонтов) неисправностей.

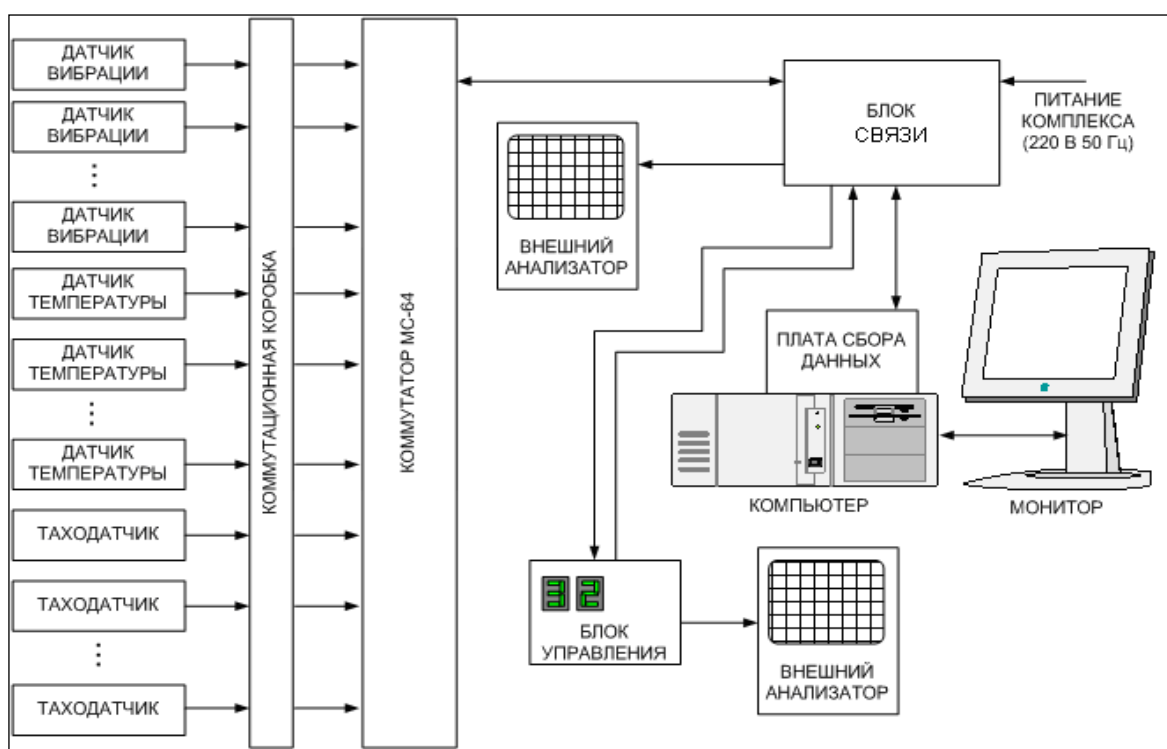


Рисунок 3 - Структурная схема расширенного варианта системы

Система должна обеспечить текущий контроль и диагностирование технического состояния механизмов прокатных станов для предотвращения внезапных отказов и обеспечения целостности базовых и корпусных деталей и узлов механизмов. Результаты контроля должны использоваться для принятия решения об аварийной остановке и о необходимости поведения ремонта механизмов.

Решаемые задачи:

- контроль и сигнализация о превышении заданных значений (параметров вибрации, температуры и др.);
- использование для контроля технического состояния токовых характеристик и частоты вращения валов приводных двигателей;

- анализ текущих значений вибрационных параметров, распознавание спектрального состава вибрационного сигнала, характера возможных повреждений и определение трендов развития повреждений;
- анализ временной реализации вибрационного сигнала и определение степени накопления повреждений при ударных процессах;
- оценка технического состояния контролируемых механизмов, определение времени и объемов ремонтных воздействий;
- накопление и анализ информации о содержании проведенных ремонтов, эффективности воздействий, периодичности замен элементов;
- диагностирование правильности функционирования стационарной системы и предупреждение о возможных неисправностях.

Особенности металлургического производства накладывают жесткие требования к надежности стационарной системы вибродиагностики из-за необходимости работы оборудования в условиях повышенной влажности, запыленности, высоких температур, ударных нагрузок и существенных электромагнитных полей. Поэтому, необходима последовательная адаптация устанавливаемой системы к условиям технологического процесса и как следствие поэтапное внедрение комплекса.

Предложено три этапа внедрения стационарной системы контроля состояния привода прокатных клетей стана 390:

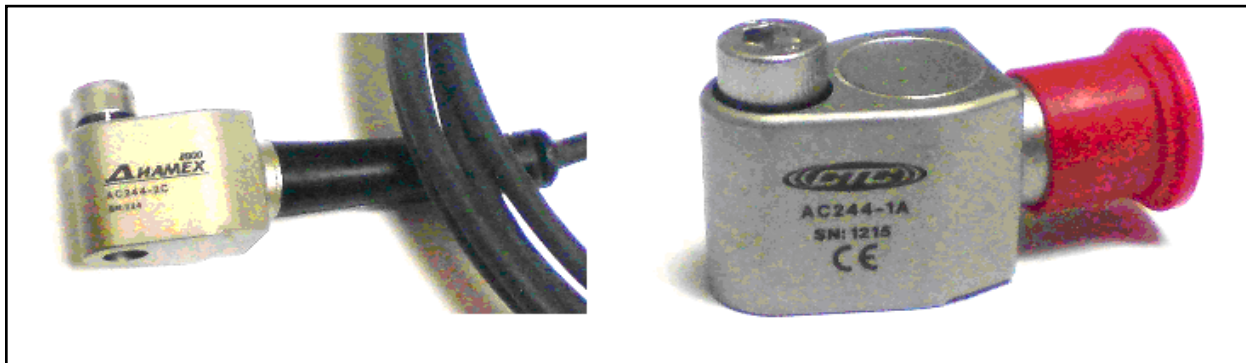
1. Установка виброаппаратуры, обеспечивающей получение сигналов от первичных преобразователей вибрации о значениях механических параметров, их обработку, хранение и предоставление конечному пользователю в удобном виде.

2. Интеграция в АСУТП, позволяющая расширить диагностические возможности за счет мониторинга таких величин, как ток и частота вращения привода, температура подшипников, наличие заготовки в клетях.

3. Внедрение программного обеспечения автоматизированной диагностики стана, которая на основании полученных ранее данных сообщает о вероятности развития дефектов и осуществляет диагностику по техническому состоянию.

В состав оборудования первого этапа комплекса входят (рис. 4):

- первичные преобразователи (датчики АС), рассчитанные на работу в условиях прокатного производства;
- блоки коммутации, обеспечивающие последовательный опрос большого количества (до 64 вибрационных) измерительных каналов;
- блок связи (БС), собирающий и обрабатывающий сигналы с блоков коммутации
- сервер, предназначенный для хранения данных и максимального удобного их отображения для конечного пользователя.



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Основные аппаратные блоки системы
а) датчики вибрации, б) коммутирующий блок, в) блок связи

Внедрение стационарной системы вибродиагностики, охватывает все необходимые точки контроля на прокатном стане и позволяет собрать данные измерений для оценки технического состояния и принятия решения о продолжении эксплуатации или выводе оборудования в ремонт (рис. 5). Для контроля при помощи стационарной системы выбраны следующие машины: привод прокатных клетей - 18 двигателей и 25 комбинированных редукторов, 5 ножниц горячей и холодной резки. На каждом редукторе установлено по три датчика - в вертикальном, горизонтальном и осевом направлениях. На двигателях – в радиальном направлении на каждом подшипнике (рис. 6).

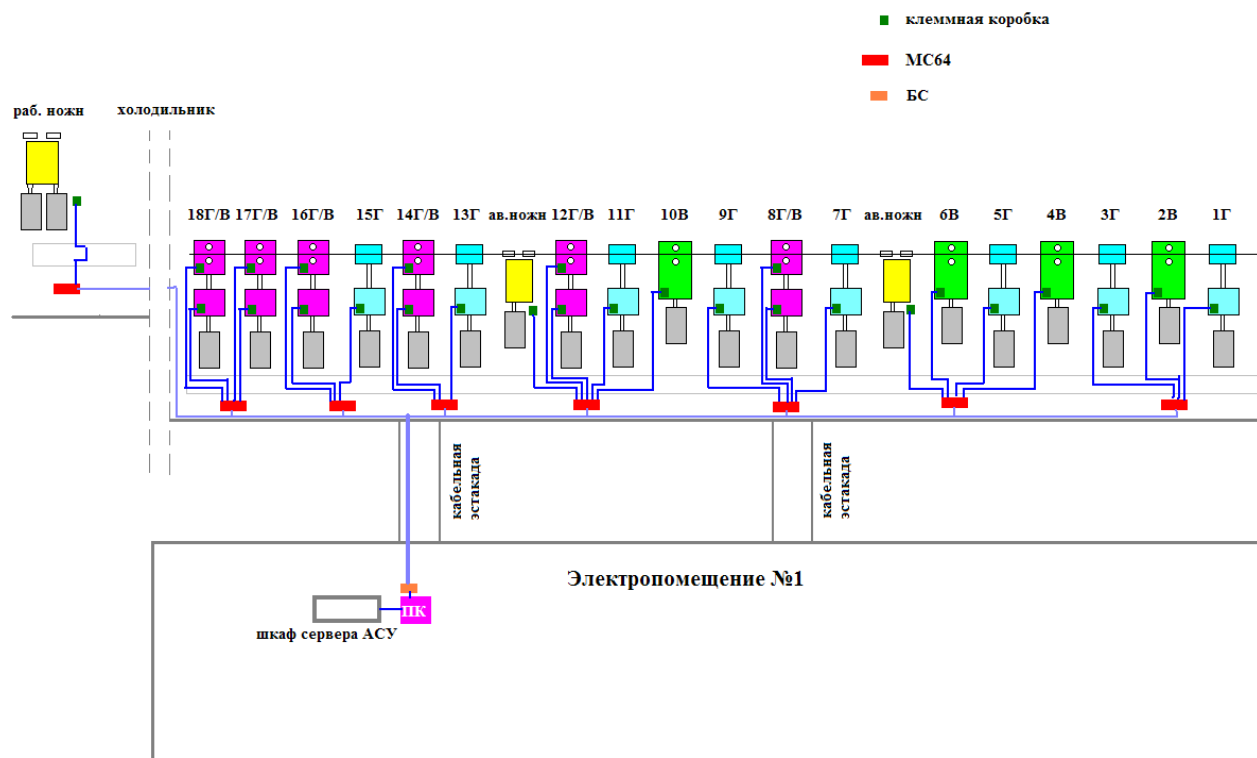


Рисунок 5 – Схема расположения основных элементов системы на стане 390

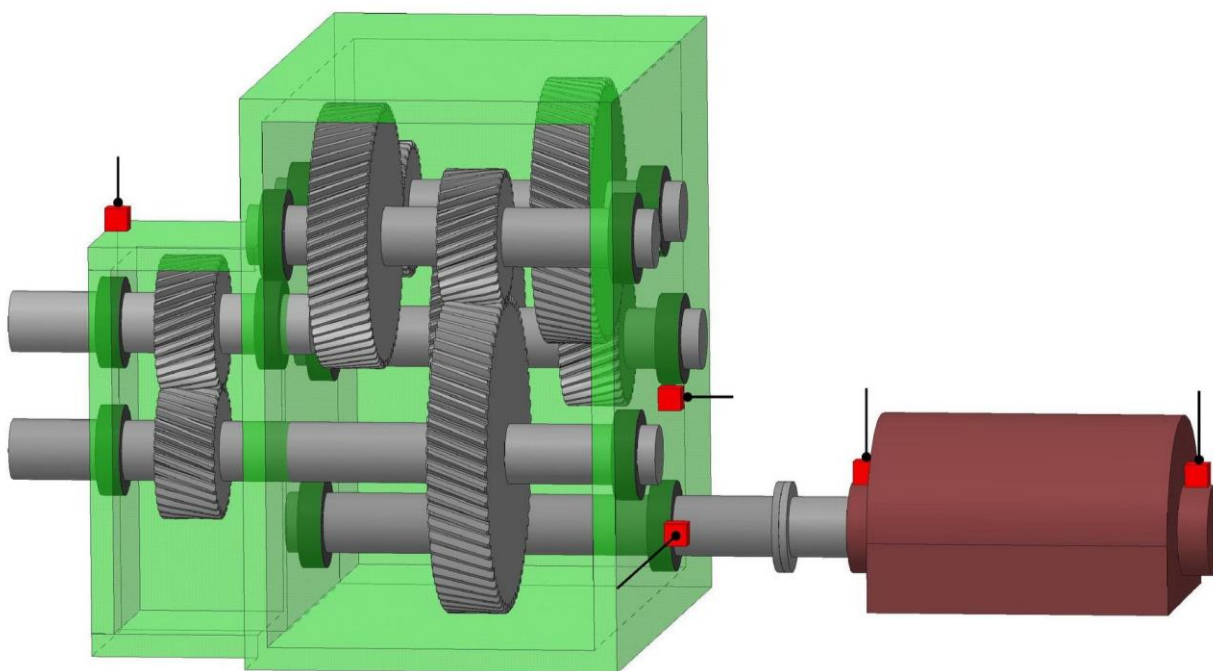


Рисунок 6 – Расположение датчиков вибрации на двигателе и редукторе привода прокатной клетки

В процессе монтажа системы успешно были решены задачи по установке большого количества датчиков вибрации, в том числе в труднодоступных местах, и коммутирующих блоков, а также прокладке кабельных трасс. Ранее многие точки были практически недоступны для проведения измерений при использовании переносных приборов по соображениям безопасности оператора (наличие раскаленной заготовки, в непосредственной близости вращающихся шпинделей, водяных пары охлаждения валков и т.д.). Установленные в системе первичные преобразователи постоянно подвергаются ударным нагрузкам, воздействию пыли, влаги, высоких температур. Для обеспечения безотказности и надежности работы системы выбраны пыле- и влагозащищенные датчики АС, выдерживающие ударные нагрузки до 50g, температуры до 120⁰С.

Для своевременного информирования персонала АСУ о вибрационном состоянии стана, а также для максимального устранения воздействий технологического процесса, серверная часть и блок связи комплекса установлены в помещении оперативного персонала. В связи с этим, длина кабельных линий связи достигает 680 м, что приводит к повышению уровней помех (в особенности «сетевой» помехи 50Гц), потерям пакетов данных.

Эта задача решена путём подключения модулей гальванической развязки, стабилизирующих входные сигналы датчиков. В то же время, блоки коммутации должны быть расположены максимально близко к первичным преобразователям, т.е. в условиях сильной запыленности и повышенной (до 80%) влажности. В связи с этим, корпуса блоков выполнены в пылезащищенном исполнении (степень защиты оболочки IP65).

Многолетний опыт вибрационной диагностики прокатного оборудования показывает, что процессы усталостного износа ответственных узлов агрегатов протекают весьма медленно [9]. Принимая во внимание это, а также необходимость кон-

троля большого количества точек, оптимальным решением для комплекса вибрационной диагностики прокатного стана является последовательный опрос каналов. Такой подход, в свою очередь, требует высокой точности коммутационного оборудования и надежности его программного обеспечения.

В комплексе это реализовано путем циклического программного переключения опрашиваемых каналов из блока связи с последующей цифровой и математической обработкой получаемых данных на сервере. Использование современных технических решений позволяет сократить период опроса одного канала до 12 секунд, сводя к минимуму вероятность пропуска скачкообразного повышения вибрации.

Программное обеспечение комплекса, установленное на первом этапе предлагает удобный интерфейс пользователя, предоставляющий всю необходимую информацию об уровнях и составе вибрации в точках контроля (рис. 7, 8). Комплекс интегрирован в заводскую сеть, что позволяет осуществлять удаленный мониторинг работы прокатного стана.

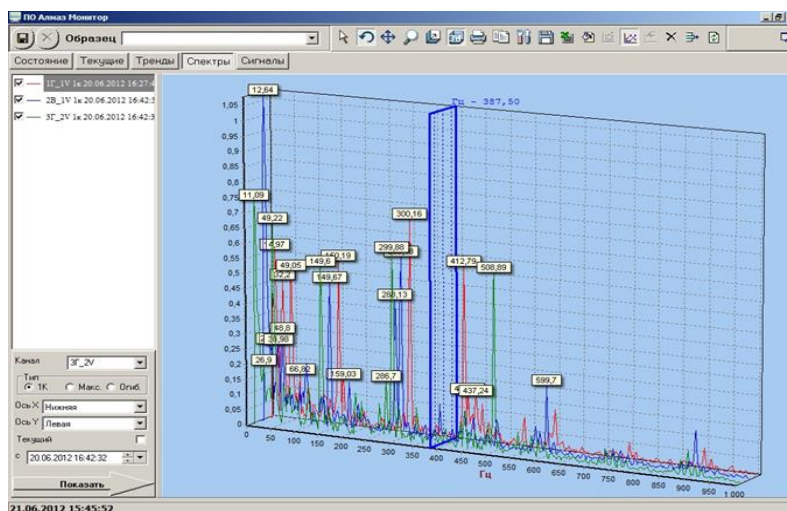


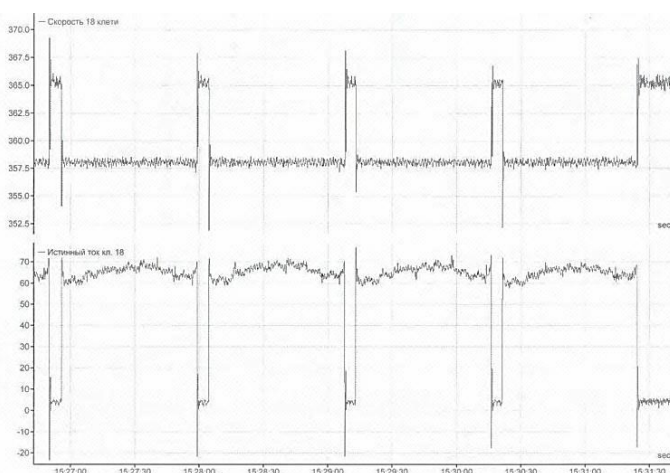
Рисунок 7 – Пример отображения спектра в ПО комплекса



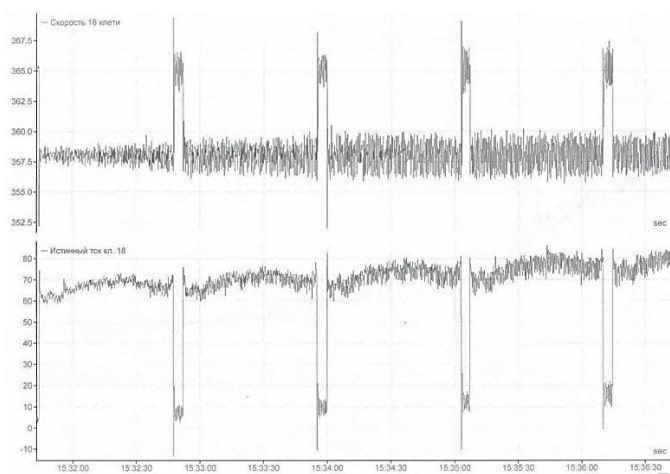
Рисунок 8 – Общая схема стана в ПО комплекса

Второй этап внедрения комплекса на стане 390 МФ ПАО «ЕМЗ» включает в себя разработку принципов взаимодействия с заводской АСУТП, а именно получение из нее данных измерений статистических величин, их обработку в программном обеспечении, наложение трендов вибрации на токовые и температурные тренды, разграничение режимов проката и вывод предупреждающих и аварийных сигналов в систему управления прокатным станом.

Важными диагностическими параметрами являются частота вращения и токовые характеристики приводного двигателя. Так, например, прекращение подачи смазочного материала к узлам комбинированного редуктора привода вертикальных валков прокатной клетки сортового стана (рис. 2) привело к внеплановой остановке стана. По результатам анализа токовых характеристик и графиков частоты вращения в развитии повреждения отмечены два периода: период устойчивой часовой работы (рис. 9а) и период развития повреждения (рис. 9б). Возникновение первого периода обусловлено наличием масляной пленки на поверхности контактирующих деталей. Развитие повреждения происходило быстро, в течение 3-х минут и привело к разрушению зубьев конической передачи из-за смещения валов при износе подшипников.



а)



б)

Рисунок 9 – Изменение токовых параметров и частоты вращения двигателя привода прокатной клетки: а) при номинальном режиме; б) при развитии повреждения

Результатом заключительного, третьего этапа внедрения комплекса должна стать автоматизированная система вибродиагностики, способная на основании заложенных экспертных правил анализировать совокупность скалярных данных, тренды и спектральный состав вибрации и выдавать заключения о состоянии оборудования и прогнозировать развитие повреждений.

Для составления экспертных правил необходимо накопление замеров вибрации узлов стана с учетом различных режимов работы (при разном сортаменте, в условиях рабочего холостого хода), данных, полученных из АСУ ТП, и архива работы ремонтной службы. Сведения о проведенных ремонтах, их эффективности, характерных неисправностях и причинах износа также должны использоваться при построении диагностических правил. Учитывая конструктивную сложность прокатного оборудования, разнообразие прокатных станов и режимов работы, важным требованием к программной части системы является возможность адаптации ее экспертного модуля к конструктивным и технологическим особенностям диагностируемого оборудования – наличие экспертной системы открытого типа [8].

Основными предпосылками эффективности и достоверности технического диагностирования оборудования и технологического процесса можно назвать следующее [10, 11].

1. Оборудование и технологический процесс должны обладать технической возможностью и готовностью к диагностированию состояния.
2. Необходимы специалисты, которые бы имели опыт решения задачи технического диагностирования, соответствующее образование и квалификацию.
3. Необходима разработка новых научных положений, которые бы определяли, что, как и когда диагностировать.

Классификация систем технической диагностики, проведенная с учетом главных выполняемых функций, изложенных в работах [11, 12], позволяет выделить следующие уровни диагностических систем:

1. **Отображение состояния** - обнаружение отклонений в работе механизмов по признакам, которые определяются органами чувств человека.
2. **Контроль и защита** - измерение контролируемого параметра, сравнение его с заданной (нормативной) величиной и защитное отключение оборудования при достижении нормативной величины.
3. **Управление** техническим состоянием по фактическим характеристикам контролируемых параметров оборудования и технологического процесса во времени.
4. **Прогнозирование** – идентификация и управление явлениями, предшествующими появлению диагностических признаков развитых повреждений.
5. **Оптимизация** - управление работой оборудования и технологическим процессом по диагностическим признакам.

В настоящее время реализация диагностической системы относительно оборудования стана 390 имеет 2-й уровень, выполняя функции контроля, а при необходимости защиты. Создание алгоритмов управления по диагностическим параметрам оборудования в настоящее время является актуальнейшей задачей современности.

Возможности системы (разработка экспертного модуля и соответствующего программного обеспечения) позволяют выполнить развитие системы (на той же элементной базе) до 3-го и далее до 4-го уровня, что предполагается реализовать на последующих этапах внедрения в соответствии с требованиями Заказчика.

Список литературы

1. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. / А.С. Гольдин. – М.: Машиностроение, 2000. – 344 с.
2. Розенберг Г.Ш. Вибродиагностика: Моногр. / Г.Ш. Розенберг, Е.З. Мадорский, Е.С. Голуб и др. Под ред. Г.Ш. Розенберга. - СПб: ПЭИПК, 2003. –284с.
3. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьев. – М.: Машиностроение, 1996. – 276 с.
4. 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.
5. Гайгемюллер Г. Диагностика агрегатов в прокатных цехах // Г. Гайгемюллер, У. Клаппорт, У. Лейтриц. Черные металлы. 1996. №12. – С.48–50.
6. Мекел Дж. Применение компьютеризированных систем наблюдения и диагностики на прокатных станах. // Дж. Мекел, В. Геропп, А. Аш. Черные металлы. 1999. №12. – С.53-60.
7. Сушко А.Е. Вибродиагностика в системах технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования металлургических производств / А.Е. Сушко, М.А. Демин. Вибрация машин: измерение снижение защита. 2005. №1 – С. 6- 9.
8. Радчик И.И. Комплексный подход к вопросам надежности работы основного и вспомогательного оборудования современного металлургического производства // И.И. Радчик, В.М. Рябков, А.Е. Сушко. Оборудование. Технический альманах. 2006. №1. С. 24 – 28.
9. Тараканов В.М. Системы непрерывного контроля по вибрационным параметрам // В.М. Тараканов, О.Б. Скворцов, А.Е. Сушко. Вибрация машин: измерение снижение защита. 2006. №3 С. 48- 54.
10. Клюев В.В. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В. Клюев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др.; Под общ. Ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672с., ил.
11. Ніцета В.В. Класифікація вібростем. Нафтова та газова промисловість / В.В. Ніцета, В.А. Сидоров. Київ, 2009р., №1 – С. 47-50
12. Ницета В.В. Системы автоматизированного управления – классификация и применение / В.В. Ницета. Вибрация машин: измерение, снижение, защита. 2009. №4. – С. 36-41.