

Опыт безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования на основе стационарных систем КОМПАКС[®]

С. Н. Бойченко к.т.н., А. А. Синицын
ООО «НПЦ «Динамика», Омск, Россия

Аннотация – при внедрении технологии безопасной и ресурсосберегающей эксплуатации оборудования возникает проблема наличия на современном технологическом производстве парка машин и устройств различного вида, к мониторингу технического состояния которых применяются различные методы. В статье приводится опыт использования комплексной системы мониторинга технического состояния оборудования, которая на базе единых аппаратных и программных средств обеспечивает его безопасную и ресурсосберегающую эксплуатацию.

Ключевые слова – безопасная эксплуатация, мониторинг состояния, комплексная система.

I. ВВЕДЕНИЕ

В основе технологии безопасной и ресурсосберегающей эксплуатации оборудования [1,2] лежит стационарная система мониторинга и автоматической диагностики (Рис. 1) которая на единой программно-аппаратной платформе контролирует и диагностирует в режиме реального времени техническое состояние разнообразного промышленного оборудования: динамическое (насосы, аппараты воздушного охлаждения, компрессоры) и статического (реакторы, теплообменники, трубопроводы и др.).

В настоящей работе приводятся данные об опыте эксплуатации систем мониторинга и автоматической диагностики КОМПАКС[®] на различных объектах.

При эксплуатации центробежного насосного агрегата (Рис. 2) на нефтеперерабатывающем производстве перед остановкой агрегата система диагностировала неудовлетворительное состояние внутренней и внешней обоймы сепаратора подшипника переднего двигателя (ППД), ослабление ППД и необходимость проведения центровки. При этом система выдавала экспертные сообщения: «Проверь_подшипник (Внешнюю и Внутреннюю обойму, Сепаратор)», «Ослабление_Подшипника» и «Проверь_Центровку» (Рис. 3). Экспертные сообщения система формирует путем анализа спектра сигнала вибрации, в данном случае спектргибающей виброускорения содержал явно выраженные гармонические составляющие сепараторной частоты подшипника (Рис. 4). Цвет сообщения соответствует техническому состоянию агрегата, которое определяется согласно существующим нормам по параметрам вибрации [3].

По показаниям системы агрегат был остановлен и выведен в ремонт. При проведении ремонта была выполнена замена переднего и заднего подшипников электродвигателя, проведена центровка.

После ремонта агрегат был допущен к эксплуатации, при этом виброускорение снизилось почти в 10 раз, выброскорость в 6 раз. Его техническое состояние соответствовало «зелёной» зоне (ДОПУСТИМО).

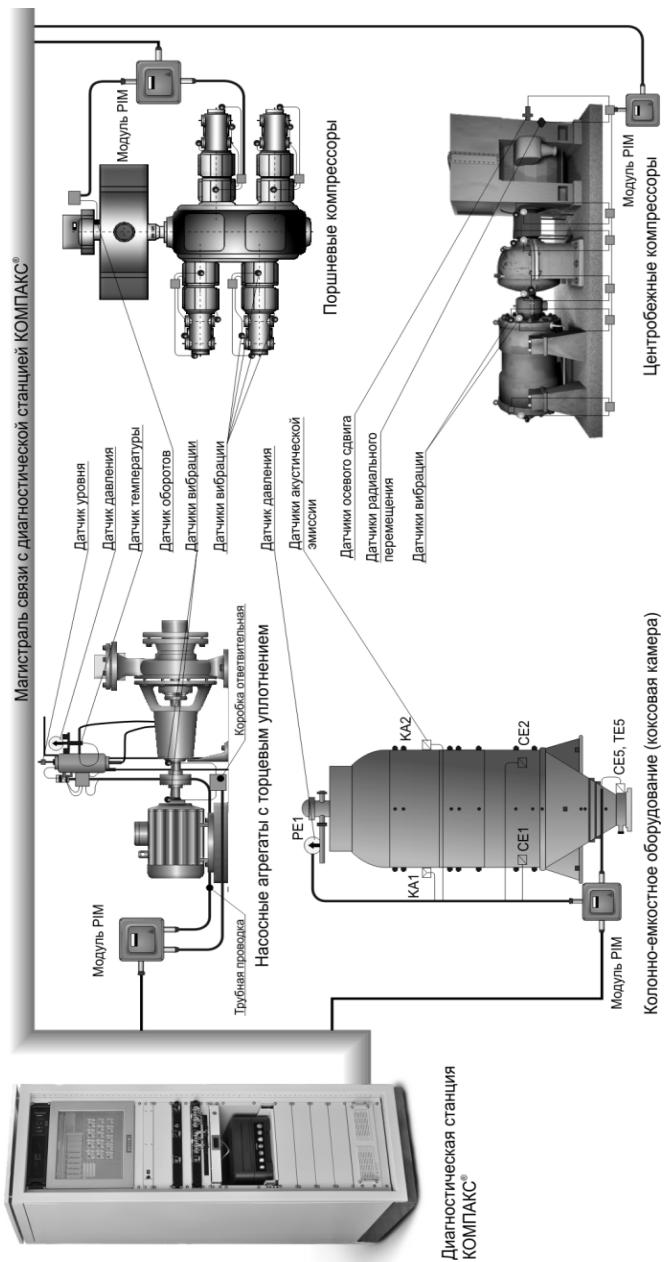


Рис. 1. Структура комплексной стационарной системы мониторинга и автоматической диагностики КОМПАКС®

II. Опыт эксплуатации динамического оборудования

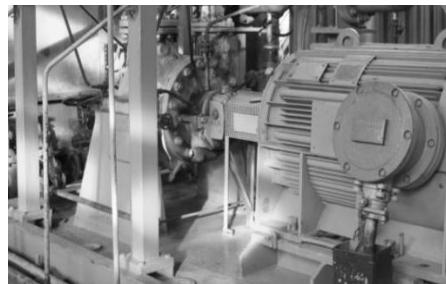


Рис. 2. Центробежный насосный агрегат

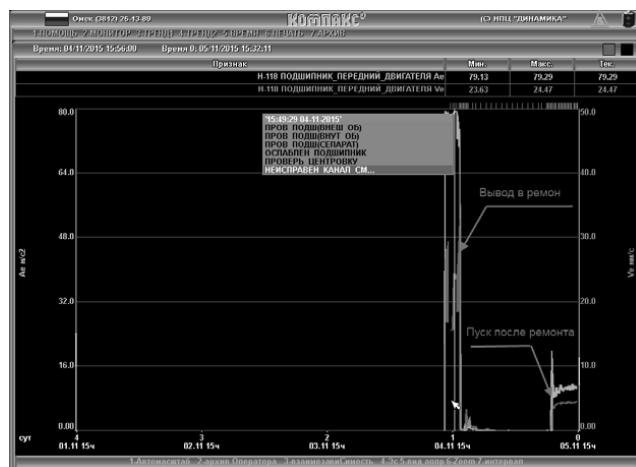


Рис. 3. Тренды параметров виброускорения (Ae) и виброскорости (Ve) электродвигателя ЦНА

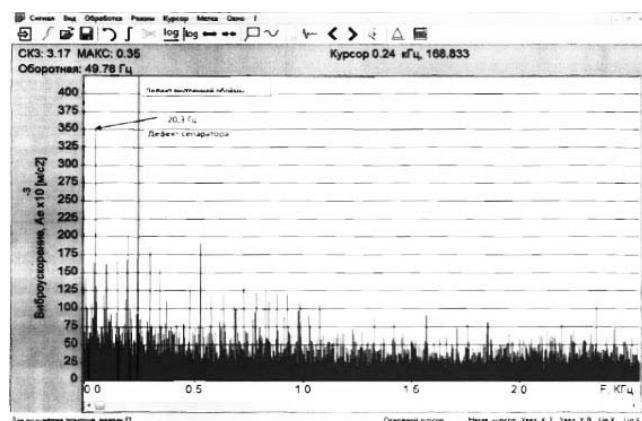


Рис. 4. Спектр сигнала огибающей виброускорения с гармоническими составляющими, связанными с дефектом сепаратора подшипника

Опыт безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования на основе стационарных систем КОМПАКС®

На рисунке 5 приведены тренды параметров вибрации при некачественном ремонте центробежного насосного агрегата. После остановки с сообщением о недопустимом состоянии подшипников электродвигателя (1) был произведен ремонт и при следующем пуске агрегата значение параметра виброускорения снизилось, однако наблюдался рост параметра виброскорости, связанного с нарушением центровки (2). После остановки и проведения повторного ремонта развитие дефекта продолжилось (3). Этот случай показывает что система является мощным инструментом контроля качественного ремонта.

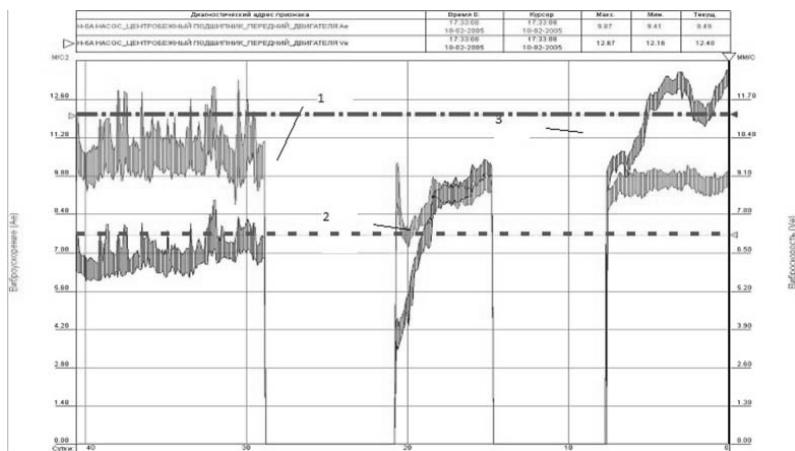


Рис. 5. Тренды параметров вибрации при некачественном ремонте насосного агрегата

На рисунке 6 приведен вид аппарата воздушного охлаждения и экран системы мониторинга с его условными изображениями на экране системы.

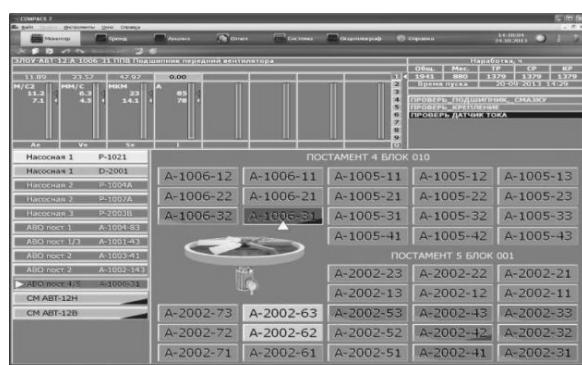


Рис. 6. Мониторинг технического состояния аппарата воздушного охлаждения

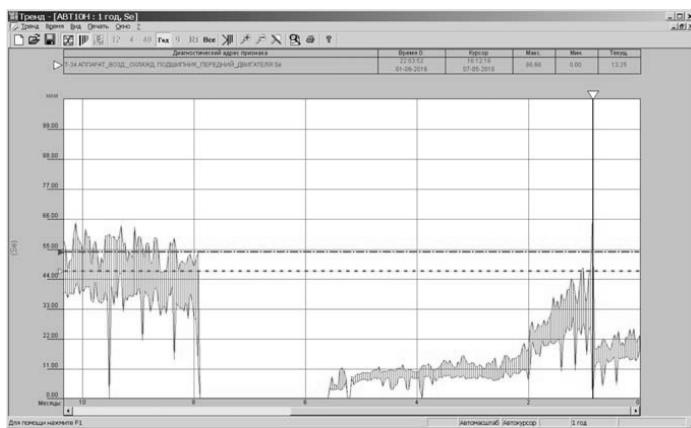


Рис. 7. Тренд параметра вибрации аппарата воздушного охлаждения при ослаблении крепления

Агрегат былпущен в работу после ремонта электродвигателя. В процессе наблюдаемого роста вибрации с 03.04.2016 по 07.05.2016 года система выдала сообщение «ПРОВЕРЬ КРЕПЛЕНИЕ». Персонал остановил агрегат и произвел обтяжку крепления после чего уровень вибрации значительно снизился (Рис. 7).

Эффективность применения системы мониторинга на центробежных компрессорах (Рис. 8) подтверждает тренд параметра виброскорости (Рис. 9).

Приведенный тренд показывает весь путь от зарождения дефекта до возникновения неисправности. Персонал своевременно реагируют на показания системы мониторинга останавливает компрессор не доводя до аварии. В данном случае система неоднократно предупреждала персонал о перегрузке компрессора и возникновении проблем с рабочим колесом. На рисунке 10 приведены спектры сигнала вибрации при дефектах рабочего колеса и нарушения крепления электродвигателя.

Система мониторинга технического состояния устанавливается на центробежный компрессорный агрегат параллельно штатной системе защиты. Данные спектры и тренды показывают, что система мониторинга состояния выдает сообщения о недопустимом состоянии, тогда как штатная система защиты указывает на удовлетворительное состояние, что показывает эффективность применения стационарной системы для мониторинга состояния компрессора.

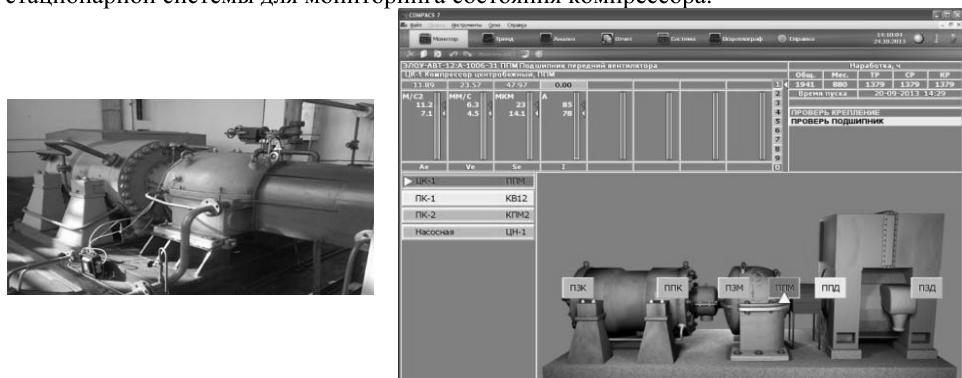


Рис. 8. Мониторинг технического состояния центробежного компрессора

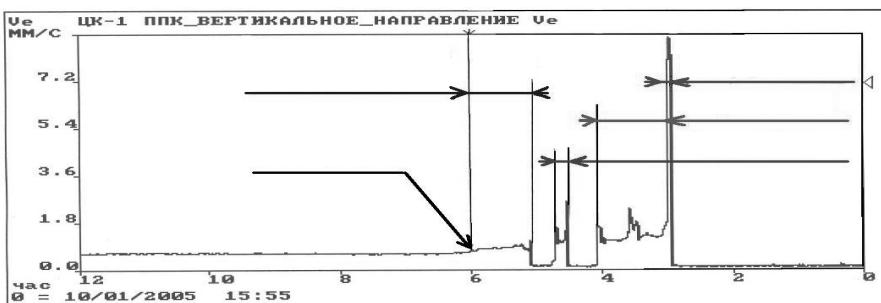


Рис. 9. Тренд параметра виброскорости центробежного компрессора

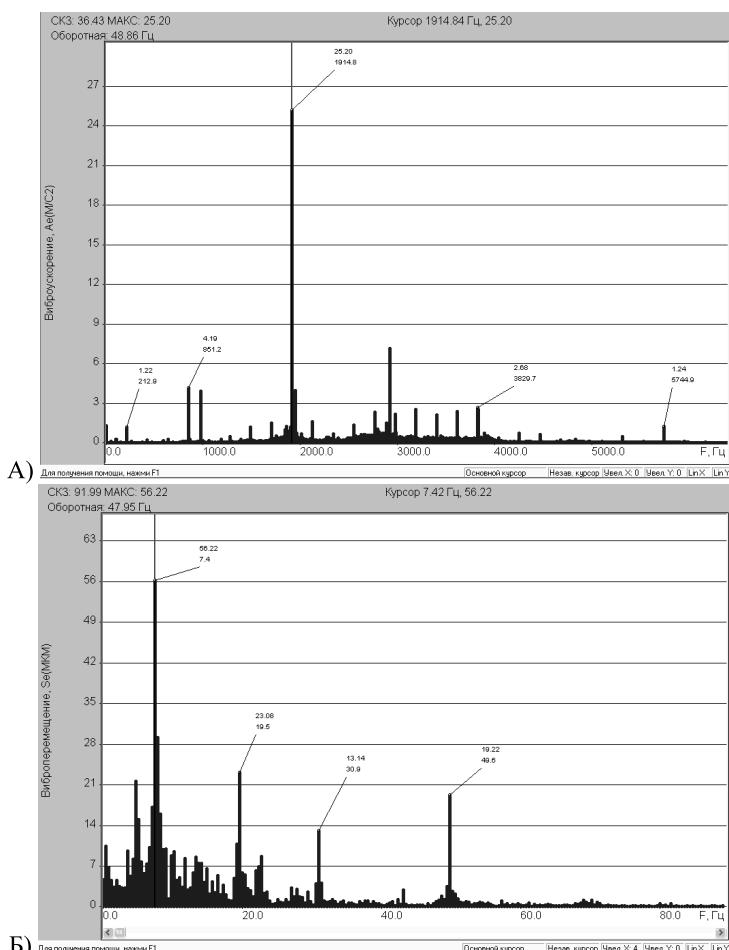


Рис. 10. Спектры сигнала виброускорения ЦК при дефекте
рабочего колеса ротора (А) и крепления опорной части электродвигателя (Б)

Весьма важным свойством комплексной системы является использование таких диагностических признаков и таких их нормативных значений, которые позволяют осуществлять мониторинг состояния в условиях априорной неопределенности, в данном случае по отношению конструкции машины. Производитель винтового компрессора настойчиво утверждал, что компрессоры работают в штатном режиме, тогда как по показаниям системы наблюдался повышенный уровень виброускорения (Рис. 11-А) Однако устранение фундаментальных причин повышенной вибрации, которые заключались в изменении проектной компоновки трубной обвязки, привели к существенному почти в 2 раза снижению уровня вибрации (Рис. 11-Б).

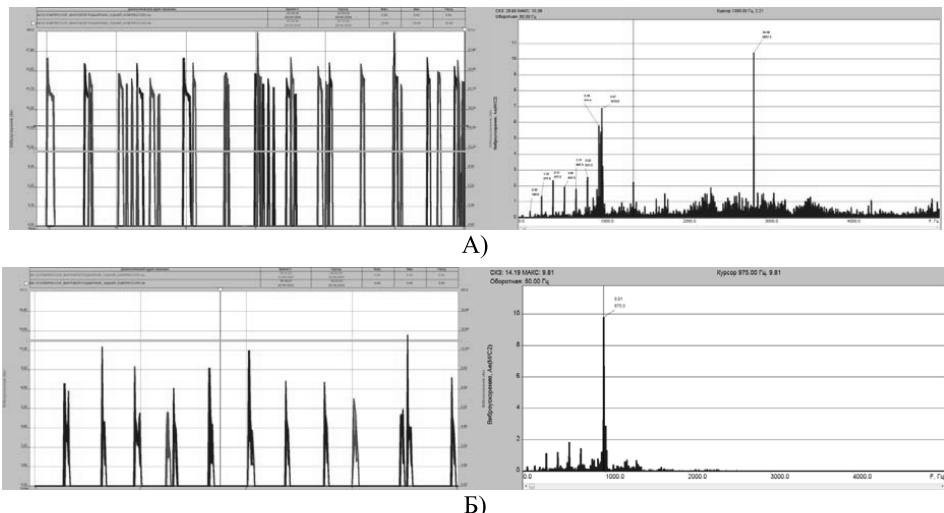


Рис. 11. Тренды и спектры сигнала виброускорения винтового компрессора при дефекте трубной обвязки (А) и после устранения дефекта (Б)

III. Опыт эксплуатации статического оборудования

В середине ноября 2012 г. на реакторе 200-R1-A одного из нефтеперерабатывающих заводов система зафиксировала рост трендов энергетического параметра АЭ сигналов в месте установки датчиков АЕ7 и АЕ9 с амплитудой свыше 100 дБ. Вместе с этим значительно увеличилось количество импульсов с амплитудой более 80 дБ (Рис. 12).

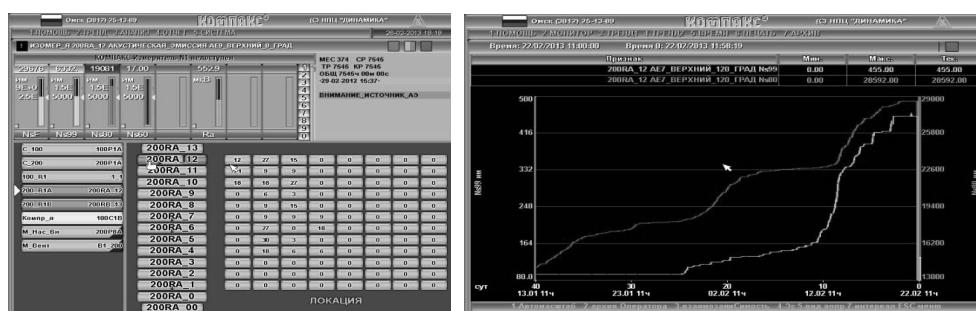


Рис. 12. Вид экрана системы мониторинга с недопустимым состоянием верхней части реактора и соответствующие тренды параметров АЭ

Наибольшее количество импульсов было зафиксировано с амплитудой от 80 до 99 дБ (Ns80) и суммарного количества импульсов NsF (данный параметр включает сумму всех обнаруженных импульсов с амплитудой от минимально порога до величины импульсов, превышающей 100 дБ).

Исследование акустико-эмиссионных (АЭ) сигналов показало, что форма волны импульсов и параметры фиксируемых импульсов совпадают с формой волны сигналов ударов катализатора и фарфоровых шариков диаметром 6 мм (второй слой над катализатором в реакторах 200-R1-A, 200-R1-B) о поверхность металла толщиной 45 мм (толщина стенки реакторов равна 45 мм).

Анализ данных АСУ ТП показал, что именно после 9.11.2012 г., когда в течение 12 часов была прекращена подача ВСГ в реакторы (Рис. 13) и реакторы работали на циркуляции, произошло увеличение АЭ активности. В связи с этим и с учетом локального характера источников, было выдвинуто предположение о локальном изменении течения газов, что могло быть связано с нарушением конструктивной целостности отдельных элементов реактора в зоне расположения датчиков AE7, AE8, AE9.

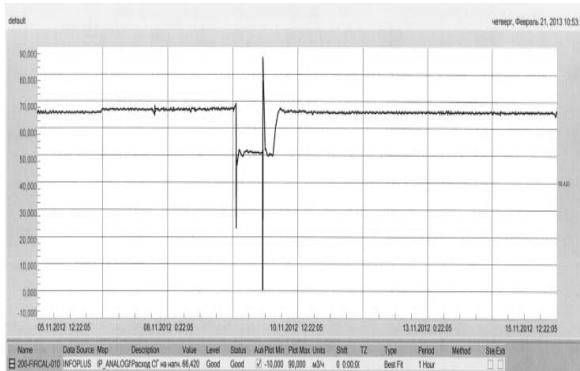


Рис. 13. Тренд изменения технологического режима реактора

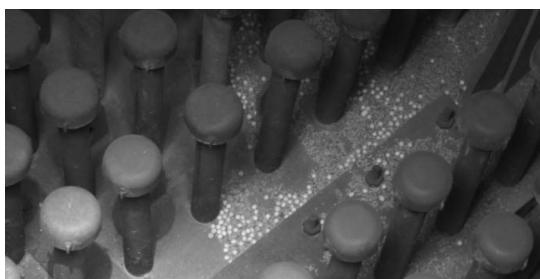


Рис. 14. Заброс фарфоровых шариков и катализатора на верхнюю тарелку реактора с возникновением акустической активности

По результатам ремонта в июне 2014 г. предположения подтвердились: на поверхности тарелки обнаружен катализатор и фарфоровые шарики, которые не должны там находиться (Рис.14), а также повреждение вводных патрубков, которые и создавали поток газа. По направлению потока газа катализатор и фарфоровые шарики ударялись о стенку реактора в областях расположения датчиков.

IV. Опыт эксплуатации специального оборудования

Примером применения безопасной и ресурсосберегающей эксплуатации оборудования в металлургической промышленности является работа системы мониторинга технического состояния колесо-прокатного стана (КПС) Выксунского металлургического комбината.

КПС предназначен для горячего проката железнодорожных колес. Мощность проката составляет 100 железнодорожных колес в час с прибылью не менее 10 тыс. рублей на колесо, т.о. простой стана приводит к недополученной прибыли в размере 1 млн. руб. в 1 час.

Согласно нормативным документам работа проката основана на ежедневной часовой остановке с целью проведения технического осмотра и еженедельной остановки на 8 часов для проведения работ по техническому обслуживанию, т.о. дополнительные простои линии проката приводят к большим экономическим потерям.

КПС состоит «четырех» машин (Рис. 15): 2 – прокатов, состоящих из двигателя постоянного тока, 2-ух ступенчатого редуктора, эджерного вала, формообразующей каретки и гидравлической системы.

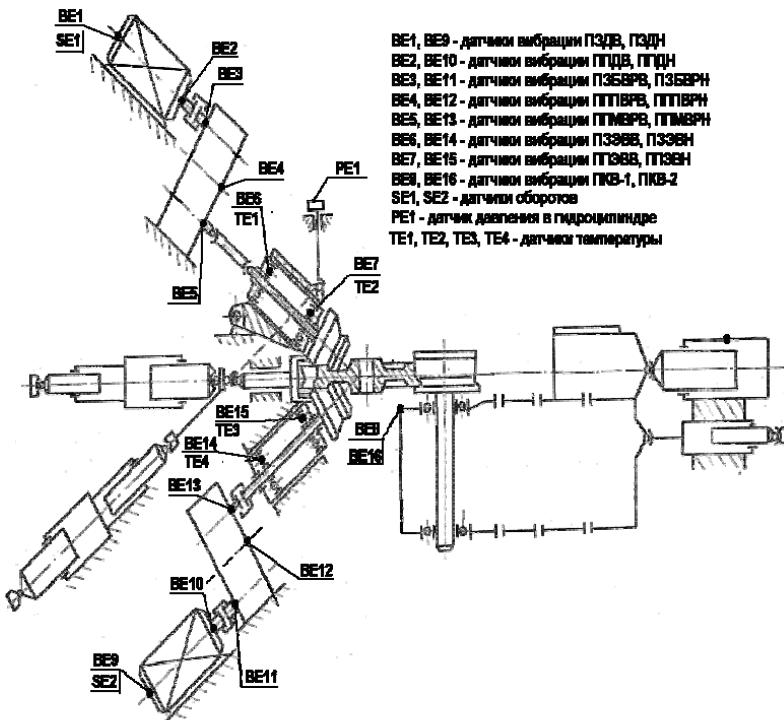


Рис. 15. Конструкция колесо-прокатного стана и места установки датчиков вибрации

Система, установленная на колесопрокатном стане, обеспечивает мониторинг состояния оборудования: динамического - по 16 каналам вибрации, 4 - температуры, 2-частоты вращения, и статического по каналам давления жидкости в гидравлической системе КПС.

Особенностью данной системы являются:

- экспертная система диагностики низкооборотного оборудования основанная на запатентованном методе синхронно-пиковой фильтрации;
- новые алгоритмы диагностирования технического состояния стана как на холостом ходу так и на технологическом режиме;
- внедрены алгоритмы диагностирования стана в старт-стопном режиме работы;
- наличие модуля оперативной замены подшипников, так как в одних и тех же узлах могут быть установлены подшипники различных типов.

На рисунке 16 представлен тренд параметра, отвечающего за состояние винта вала нижнего эджерного вала КПС. После простоя, связанного с переваловкой инструмента (участок 1) произошло стадийное ослабления крепления вала (участки 2-4).

После критического ослабления стан был остановлен и восстановлено крепление вала нижнего эджерного вала.

Таким образом, авария и 8-часовой простой линии проката были предотвращены и произведено техническое обслуживание по фактическому техническому состоянию в реальном времени, тем самым было дополнительно выпущено более 800 колес.

Необходимо отметить, что вся ситуация развивалась на протяжении 30 минут.

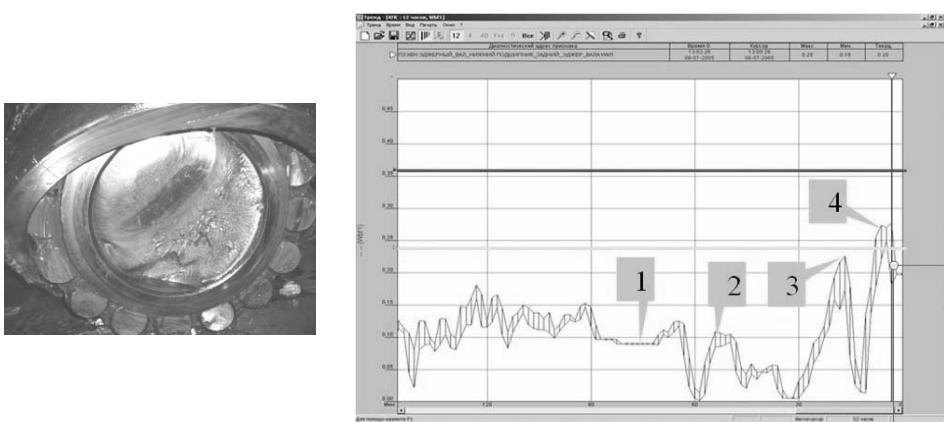


Рис. 16. Тренд вибропараметра Структура комплексной стационарной системы

На рисунке 17 представлен тренд многостадийного разрушения подшипника эджерного вала КПС и адекватную реакцию системы мониторинга состояния оборудования, которая обнаружила дефект более чем за 52 часа.

В результате аварийная остановка КПС заблаговременно была предупреждена и произведен ремонт по фактическому техническому состоянию. При этом, механики своевременно собрали ремонтную бригаду и перевели ремонт в период профилактики, тем самым сократили простой более чем на 8 часов.

Необходимо отметить, что диагностика подшипников эджерного вала, произведенная с помощью переносных приборов, на холостом ходу во время переваловки никаких результатов не дала, т.к. стан работал без фактических динамических нагрузок.

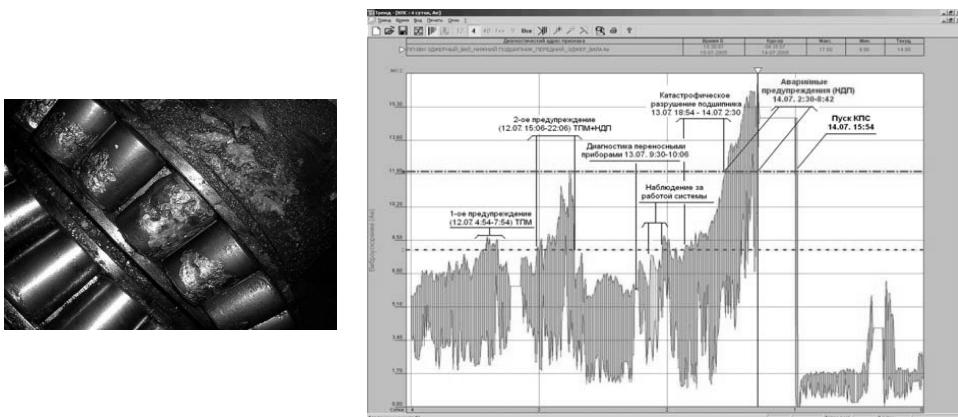


Рис. 17. Тренд многостадийного разрушения подшипника эджерного вала КПС

Другой важной составляющей эффективности применения систем мониторинга технического состояния КПС является возможность оптимизации технологических режимов работы комплекса, благодаря наблюдаемости его технического состояния.

Анализ характера вибрации (Рис. 19) показал, что проблемой является некачественное изготовление формообразующей оправки, приводящее к повышенным динамическим нагрузкам. После изменения технологии изготовления оправок уровень вибрации снизился более чем в 3 раза.

Тем самым система явилась инструментом для оценки эффективности принятия решений об изменении технологического процесса изготовления формообразующего инструмента.

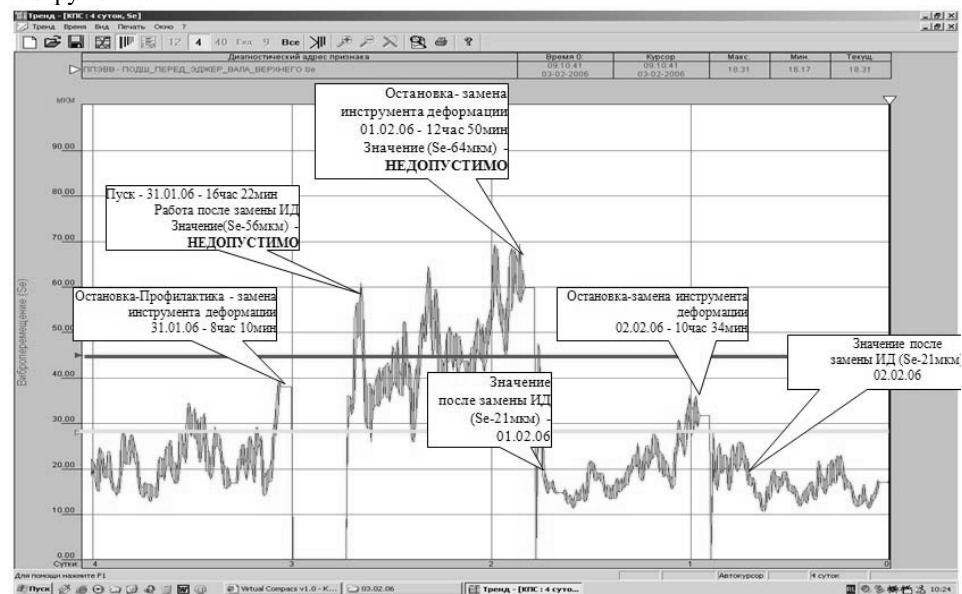


Рис. 19. Пример оптимизации технологического процесса

V. Выводы и заключение

Опыт использования систем мониторинга технического состояния оборудования показывает, что они обеспечивают автоматически в реальном времени:

- полностью автоматическую диагностику и прогнозирование основных неисправностей и дефектов (>95-98%);
- полное использование ресурса оборудования;
- сохранение ремонтопригодности оборудования;
- своевременное информирование персонала о ближайших неотложных действиях для увеличения ресурса оборудования;
- формирование планов целенаправленных ремонтов на основе знания фактического технического состояния оборудования;

Применение систем позволяет принимать из ремонта оборудование с максимальным ресурсом, выявлять и ликвидировать фундаментальные причины отказов оборудования, выявлять и ликвидировать ошибки проектирования и монтажа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. Москва, Машиностроение, 2002, стр. 224.
- [2] Костюков В.Н. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР - КОМПАКС®). Москва, Машиностроение, 1999, стр. 163.
- [3] ГОСТ Р 53565-2009. Мониторинг оборудования опасных производств. Вибрация центробежных насосных и компрессорных агрегатов. Москва, «Стандартинформ», 2010, стр. 5



VI ШКОЛА-СЕМИНАР

24 августа 2016 г.

**Оценка и управление
индустриальными рисками
в промышленной безопасности.
Мониторинг рисков сложных
и уникальных объектов**

Сборник материалов
Омск, 2016

VI ШКОЛА-СЕМИНАР
24 августа 2016 г.

**Оценка и управление
индустриальными рисками
в промышленной безопасности.
Мониторинг рисков сложных
и уникальных объектов**

**Сборник материалов
Омск, 2016**

**УДК 628.5
ББК ЗОн**

VI ШКОЛА-СЕМИНАР. 24 августа 2016 г. Оценка и управление индустриальными рисками в промышленной безопасности. Мониторинг рисков сложных и уникальных объектов. Сборник материалов. – Омск: типография «Золотой тираж» (ООО «Омскбланкиздат»), 2016 г. – 222 с.

ISBN 978-5-8042-0505-9

Сборник содержит материалы VI школы-семинара «Оценка и управление индустриальными рисками в промышленной безопасности. Мониторинг рисков эксплуатации оборудования производственно-транспортного комплекса России», который прошел 24 августа 2016 г. в г. Омске под эгидой Научно-промышленного союза «Управление рисками, промышленная безопасность, контроль и мониторинг» (НПС «РИСКОМ»). Материалы посвящены общей теории рисков, управлению промышленной безопасностью на основе анализа и мониторинга рисков, мониторингу технического состояния и автоматической диагностике динамического и статического оборудования в режиме реального времени, а также оценке риска эксплуатации и остаточного ресурса технических устройств, зданий и сооружений.

**УДК 628.5
ББК ЗОн**

ISBN 978-5-8042-0505-9

© НПС «РИСКОМ», 2016
© ООО «НПЦ ДИНАМИКА», 2016
© Типография «Золотой тираж» (ООО «Омскбланкиздат»), 2016

Уважаемые коллеги!

От имени ООО «Научно-производственный центр ДИНАМИКА – Диагностика, Надежность машин и Комплексная Автоматизация» в год 25-летия со дня основания Центра и 300-летия г. Омска сердечно приветствую участников VI школы-семинара «Оценка и управление индустриальными рисками в промышленной безопасности. Мониторинг рисков эксплуатации оборудования производственно-транспортного комплекса России». Очень рад, что вы нашли время для нашей встречи, которая позволит выработать новые перспективные подходы к совершенствованию комплексных систем мониторинга неисправностей и рисков безопасной эксплуатации оборудования производства и транспорта.

Искренне желаю вам плодотворной работы, хорошего познавательного отдыха и участия в праздничных мероприятиях в Центре и городе!

Председатель совета директоров ООО НПЦ Динамика,
д.т.н., профессор, академик РИА и МАОН,
генеральный конструктор систем мониторинга РИА,
лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники,
Костюков В.Н.

VI ШКОЛА-СЕМИНАР

24 августа 2016 г.

**Оценка и управление
индустриальными рисками
в промышленной безопасности.
Мониторинг рисков сложных
и уникальных объектов**

Подписано в печать 29.11.2016 г. Формат 60x90/16.
Печать офсетная. Бумага мелованная 90 г/м².
Печ. л. 13,88. Заказ № 276515. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии «Золотой тираж» (ООО «Омскбланкиздат»).
644007, г. Омск, ул. Орджоникидзе, 34. Тел. 8 (3812) 212-111.
www.zolotoytiраж.рф