

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ И ГОРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ СОГЛАСНО КОНЦЕПЦИИ «НАДЕЖНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ».

Современный уровень развития технологий горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий предъявляет высокие требования к надежности оборудования, а также эффективной и экономичной его работы. Надежность оборудования базируется на обязательном применении новейших средств, методов контроля и наладки горно-шахтного оборудования (ГШО) и требует комплексного подхода к решению инженерно-технических проблем.

Работоспособность ГШО (т.е. способность удовлетворять заданным техническим характеристикам в течение определенного момента времени) и восстановление его основных характеристик обеспечивается на предприятиях установленной системой технического обслуживания и ремонта (ТОиР).

Согласно ГОСТ 28.001-83 целью системы ТОиР является управление техническим состоянием изделий в течении всего срока их службы (или ресурса до списания), позволяющее обеспечить заданный высокий уровень их готовности к использованию по назначению и работоспособности в процессе эксплуатации при минимальных затратах как времени, так и средств на выполнение технического обслуживания и ремонта изделий.

Усилия системы ТОиР должны быть направлены на повышение коэффициента использования оборудования, который согласно ГОСТ 13377-75 описывается следующим уравнением:

$$K_T = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_p + t_{\text{мо}}}$$

(1.1)

где $t_{\text{сум}}$ – наработка в часах; t_n и $t_{\text{мо}}$ - время всех простоев, вызванное необходимостью ремонта и технического обслуживания объекта.

Логично предположить, что для того чтобы повысить K_T следует увеличить наработку и уменьшить время простоев оборудования, как в ремонте, так и при техническом обслуживании. В тоже время качество проведенного технического обслуживания может уменьшить количество ремонтов, и соответственно качество проведенного ремонта влияет на продолжительность межремонтного интервала.

Обеспечение успешной работы ГШО в течение длительного периода времени требует аккуратного выбора конструкции оборудования, правильной установки, бережной эксплуатации, возможности диагностирования (наблюдения) за изменениями характеристик через определенное время, и в случае отказа, способностью полностью исследовать причину отказа и принять меры, чтобы предотвратить повторение проблемы. ГШО, которое правильно установлено, динамически сбалансировано, находится на регламентированном фундаменте с допустимой соосностью, обеспечено качественной смазкой, запускается, эксплуатируется и останавливается с требованиями ТУ, а также если эксплуатационный персонал наблюдает за отклонениями параметрических значений, обычно никогда не испытывает аварийных отказов.

Во время проведения выездного обслуживания специалисты технического сервиса компании «Балтех» не раз сталкивались с ситуацией, что часто горно-шахтное оборудование эксплуатируется не в расчетном режиме, с менее эффективным КПД, или установлено на неустойчивых опорных плитах, или работает в условиях не допустимой расцентровки валов, или, будучи смазанное на ремонтном заводе, больше не смазывается, пока не заклинит подшипники, и как следствие, по результатам вибрационного анализа очень частый дефект «ослабление опор». Согласно концепции «Надежное оборудование» (разработчик компания «Балтех», г. Санкт-Петербург) при эксплуатационных и сервисных (ремонтных) работах ГШО должен соблюдаться принцип международных систем качества Р-Д-С-А «ПЛАНИРУЙ-ДЕЛАЙ-ПРОВЕРЯЙ-АНАЛИЗИРУЙ». Согласно данной концепции всегда необходимо найти и проанализировать причину отказа, принять необходимые меры не только по ее локализации с помощью средств функциональной и тестовой диагностики, но и спланировать превентивные мероприятия (указ на слабые технические стороны разработчику или технологии ремонта собственного подразделения), чтобы в следующие периоды эксплуатации ГШО эта «болезнь» не повторилась. Таким образом коэффициент надежности оборудования может не только поддерживаться на уровне заложенном при проектировании разработчиком (производителем), но и повышаться за время эксплуатации машин и механизмов, что приводит к повышению эксплуатационной рентабельности. В учебном центре «Балтех» под каждый вид оборудования разработаны отдельные концептуальные программы начиная с расчета экономической целесообразности внедрения методов параметрической диагностики, подбора

функциональных приборов и диагностических систем, и заканчивая поставкой с обучением на предприятии данной отрасли. Мировой опыт показывает, что существует всего несколько форм технического обслуживания. В каждой отрасли процентное соотношение отличается в зависимости от специфики и технологий.

Пять подходов к обслуживанию ГШО

Если Вы достаточно долго работаете в промышленности, то, возможно, наблюдали все различные формы технического обслуживания. Способы работы обслуживающих или ремонтных подразделений, обычно относятся к пяти различным категориям:

1. Реактивное (реагирующее) профилактическое обслуживание (РПО);
2. Обслуживание по регламенту или планово-профилактическое обслуживание (ППР);
3. Обслуживание по фактическому техническому состоянию (ОФС);
4. Проактивное или предотвращающее обслуживание (ПАО);
5. Концепция «НадО:2010» (комбинированная концепция надежности оборудования)

ФОРМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
Реактивное обслуживание (затраты 750руб на 1КВт в год)	Ремонт или замена оборудования только в случае выхода из строя, либо полной выработки ресурса
Планово-профилактическое обслуживание (затраты 600руб на 1КВт в год)	Планово-периодическое проведение профилактических работ, составление и соблюдение календарного графика
Обслуживание по фактическому состоянию (ОФС) (затраты 360руб на 1КВт в год)	Обслуживание только дефектного оборудования в сочетании с профилактикой внеплановых остановов
Проактивное обслуживание (затраты 240руб на 1КВт в год)	Продление межремонтного интервала и интервала между обследованиями
Концепция «НадО:2010»	КОМБИНИРОВАННАЯ КОНЦЕПЦИЯ

Далее кратко о каждом.

Принципиальное значение конечной стоимости затрат на производство работ связанных ТОиР связано с выбором формы организации системы ТОиР.

○ Реактивное (реагирующее) профилактическое обслуживание (РПО).

Форма технического обслуживания при которой ремонт и/или замена узла (агрегата, машины и т.д.) производится только после выхода его из строя (отказа), либо полной выработки ресурса. Данная форма технического обслуживания может быть применима только для дешевого вспомогательного оборудования при наличии его резервирования. Иногда эту форму называют «агрегатированием», т.к. меняется полностью агрегат (например насос экскаватора ЭКГ-10, или привод-электродвигатель).

Достоинством данного метода является то, что до наступления отказа оборудования не требуется вложения средств на саму систему ТОиР, недостатком – что эта «мнимая» экономия может привести к колоссальному по времени внеплановому простоя оборудования вследствие его внезапного отказа и чрезмерно высокой стоимости непосредственно самого ремонта, тем более возможности ремонтного подразделения ограничены.

○ Обслуживание по регламенту (ППР).

Цель проведения обслуживания по регламенту или, по-другому, планово-предупредительных работ (ППР), в исключении числа отказов оборудования путем проведения периодического профилактического технического обслуживания и плановых ремонтов.

В основе этой стратегии заложен следующий принцип: используя статистические данные истории отказов аналогичного оборудования и принципов развития определенных процессов износа отдельных его узлов в зависимости от фактической наработки, устанавливают такой срок эксплуатации оборудования, при котором вероятность безотказной работы будет достаточно высокой (например, 98%), подразумевая малую вероятность интенсивного износа и отказа оборудования. Этот срок называют межремонтным интервалом и жестко привязывают к календарному план-графику производства, с таким расчетом, чтобы проводить необходимые ППР без ущерба технологическому процессу самого производства. Считается, что дефектация определенного узла машины с целью определения необходимости его ремонта либо замены по окончании фиксированного межремонтного интервала, существенно снижает вероятность его отказа.

Однако на практике эти принципы не всегда работают. В реальных условиях строгая линейная зависимость между наработкой на отказ или сроком эксплуатации и техническим состоянием механизма существует только при наличии исключительно либо химической коррозии, либо механической эрозии и износа, либо усталостного износа.

Остаточный ресурс механизма не должен определяться только временем его эксплуатации. Бесспорно, что время эксплуатации оказывает влияние на техническое состояние механизма, но время не единственный фактор, определяющий его остаточный ресурс, а часто даже малозначительный. Каждый механизм состоит из целой гаммы допусков: проектно-конструкторских, производственно-технологических, допусков на комплектацию, допусков на пуско-наладочные, эксплуатационные и ремонтно-профилактические работы, которые также выполняются специалистами разных квалификаций. Как следствие, на практике не существует двух совершенно одинаковых механизмов и не может быть абсолютно одинаковых процессов их эксплуатации. Наиболее значимыми факторами (вопросами), оказывающими влияние на эксплуатационные характеристики промышленного оборудования являются:

- где, когда и как оборудование было изготовлено?
- при каких условиях оборудование хранилось?
- как оно транспортировалось?
- как осуществлялся его монтаж?
- при каких условиях оно эксплуатировалось?
- какова была квалификация и техническое оснащение обслуживающего персонала?
- каково было содержание и качество последовательно произведенных ремонтов?, и т.д.;

Важно всегда помнить и о том, что остаточный ресурс любого исправного механизма не обоснованно подвергнутого вмешательству сокращается по причине нарушения качества кинематических взаимосвязей в его узлах, достигнутое естественной приработкой сопрягаемых узлов и деталей в процессе эксплуатации. Это есть самый существенный недостаток системы ППР. Чем более высокотехнологичен механизм, тем больший урон ему наносят необоснованные ревизии.

Несмотря на все вышесказанное, система ППР остается наиболее популярной среди предприятий горнодобывающей промышленности. Причины этому различны:

- Практический опыт использования системы ППР показал значительное снижение эксплуатационных затрат по сравнению с системой РПО (по разным источникам от 15 до 40%).
- Система ППР хорошо развита, отработана, имеет хорошую методологическую основу и позволяет поддерживать заданный уровень исправности и работоспособности оборудования.
- Отсутствие четкого представления у руководителей предприятий о более прогрессивных системах ТОиР, усугубленная нехваткой квалифицированного персонала ремонтных служб и технического аппаратно-инструментального обеспечения для производства работ по фактическому техническому состоянию оборудования.

Однако самой важной причиной является то, что система ППР устраивает как изготовителя оборудования, так и персонал эксплуатирующей его организации.

Изготовитель (дистрибьютор), представляющий гарантию на произведенное (поставленное) им оборудование, предоставляет пакет инструкций обязывающий производить регламентированный ППР в зависимости от его наработки, тем самым страхуясь, в том числе, и от своих ошибок, что дает ему возможность отказать в гарантии, если оборудование не было подвергнуто требуемому техническому обслуживанию.

Изготовитель также имеет право отказать в гарантии, если усомниться в качестве произведенных работ. Несмотря на то, что в руководящих документах (РД) прописан перечень необходимых работ по поддержанию исправности оборудования, у предприятия-эксплуатационщика может не быть специалиста требуемой квалификации, опыта и требуемого инструмента для их проведения.

Более того, изготовитель ГШО, являясь прекрасно осведомленным о характере его эксплуатации, зачастую требует настолько идеальных условий, выполнение которых на практике весьма затруднительно или практически невозможно, невыполнение которых обязывает эксплуатационщика проводить все новый и новый ряд профилактических работ.

У ремонтного подразделения несколько иной принцип: «мы сделали то, что предписано», можно еще добавить «как смогли, и чем смогли». Очень часто никаких претензий к ним не должно, так как они действительно производят ремонт современного оборудования по ремонтной технологии отстающей на много лет. Технические аудиты компании «Балтех», проведенные на предприятиях в различных регионах России и СНГ за последние два года показали, что приборная и инструментальная база улучшается, иногда необдуманно и даже с избытком, но проблема обученных кадров и качественной технологии ремонта нет. Сервисные

организации пока осуществляют в большинстве случаев только поставку запасных частей, а на импортное оборудование с большой задержкой.

К тому же система ППР весьма затратная форма технического обслуживания, так как в большинстве случаев стимулируется сдельной системой оплаты труда по принципу «больше ремонта – больше оплата». Следовательно, как непосредственные исполнители, так и их руководители заинтересованы в большем объеме ремонтных работ, что существенно затрудняет интеграцию новых подходов к системе ТОиР.

С приходом рыночной экономики и появлением собственников ситуация начинает меняться. Взвесив все «за» и «против» руководители предприятий начинают искать пути снижения эксплуатационных затрат, понимая что величина этих затрат должна быть обоснована и технически, и экономически.

○ **Обслуживание по фактическому состоянию (ОФС).**

В 90-х гг. прошлого столетия произошел качественный скачок в развитии микропроцессорной техники, позволивший создавать аппаратные средства и программы позволяющие производить не только мониторинг технического состояния оборудования, но и осуществлять диагностику и прогнозировать тенденции его изменения. Это позволило создать качественно новую систему ТОиР – систему обслуживания по фактическому техническому состоянию.

Основная идея системы ТОиР по ОФС состоит в том, что техническое обслуживание базируется не только на зависимости сколько механизм проработал, но и с учетом его реального технического состояния, другими словами ремонту подвергаются только те узлы, которые в действительности требуют оперативного вмешательства.

Естественно возникает множество вопросов, первый из которых: «Какие параметры ГШО должны контролироваться и по каким критериям выводить в ремонт оборудование?».

Требования к контролируемым параметрам

При ревизиях механизмов определяются так называемые первичные параметры их состояния: дефекты кинематических узлов, рабочих органов, креплений и т.д. Оценка состояния проводится визуально или с использованием каких-либо инструментальных (диагностических) средств и представляется, в целом, достаточно надежной. Хотя, как уже говорилось выше, далеко не все даже важные для технического состояния механизма первичные параметры (например, динамический дисбаланс ротора, расцентровка) могут быть определены методом ревизии.

При стратегии ОФС, которая предполагает оценку технического состояния механизма без ревизии, на эксплуатационных режимах, речь, естественно, идет о контроле по вторичным параметрам и поэтому вполне логично, что эти параметры должны удовлетворять определенным требованиям. Требования к ним должны быть сформулированы следующим образом:

1. контролируемые параметры должны иметь однозначную количественную взаимосвязь с первичными параметрами технического состояния;
2. измерение параметров должно обеспечиваться по возможности простыми, портативными или стационарными техническими средствами, не требующими специальной квалификации персонала;
3. технические средства должны быть метрологически аттестованы согласно ГОСТам и методикам;
4. диапазон изменения контролируемых параметров в процессе работы механизма от состояния «отлично» до состояния «недопустимо» должен быть достаточно большим (параметр должен меняться не менее, чем в 5-10 раз согласно стандарту IORS:2010) для своевременного выявления зарождающихся дефектов и достоверного прогнозирования остаточного ресурса механизма;
5. стоимость выполнения работ по контролю вторичных параметров и время их выполнения должны быть существенно ниже, чем при ревизии механизмов;
6. достоверность контроля по вторичным параметрам должна быть не ниже 80 %;
7. параметры контроля должны быть по возможности универсальны для диагностики одинаковых дефектов однотипного оборудования или его узлов.

Изложенный перечень не является исчерпывающим и может дополняться другими требованиями в зависимости от конкретных особенностей ГШО и тех дефектов, которые в нём могут появляться, но применение требований перечисленных выше, на наш взгляд, является обязательным.

Основы технологии ОФС

Коренное отличие технологии ОФС от ППР состоит в том, что ППР основывается только на времени эксплуатации ГШО, а ОФС учитывает всю совокупность факторов, определяющих его эксплуатационный

ресурс. Причём происходит это автоматически, поскольку какие бы факторы и в какой комбинации в каждом конкретном случае не воздействовали на ГШО, мы наблюдаем совокупную реакцию на эти воздействия по изменению выбранных критериев и параметров. А они, как уже говорилось выше, в силу своей высокой информативности и чувствительности обязательно отразят происходящие с оборудованием перемены. В последующем, если это необходимо, соответствующей обработкой и анализом параметров всегда можно определиться и с реальной причиной, вызывающей данные изменения: дефекты его изготовления, или монтажа, или наладки, или это процессы естественного износа узлов и деталей. При этом появляется возможность не только контролировать состояние ГШО, но и определять реальные причины происходящих изменений в каждой конкретной ситуации, а, значит и принимать вполне обоснованные решения по их устранению в дальнейшем. Это существенное достоинство технологии ОФС.

Ещё одним преимуществом технологии ОФС является то, что используемые при этом технические средства, как правило, позволяют не только производить измерения и контролировать состояние оборудования, но и обеспечивают решение задач по оперативной наладке механизмов в процессе эксплуатации. В первую очередь это касается центровки, динамической балансировки роторов, лазерной выверки геометрии ГШО. Таким образом, при технологии ОФС существенно изменяется сам цикл работ при эксплуатации оборудования. При технологии ППР эксплуатационный цикл (рис. 1), представляет собой непрерывное чередование двух фаз: РАБОТА/ТО или РЕМОНТ, при этом в любой момент цикла может вклиниться поломка механизма со всеми вытекающими последствиями.



Рис. 1 Технология обслуживания «по регламенту»

При технологии ОФС (рис.2), в составе цикла появляются совершенно новые фазы, коренным образом изменяющие саму идеологию эксплуатации ГШО.

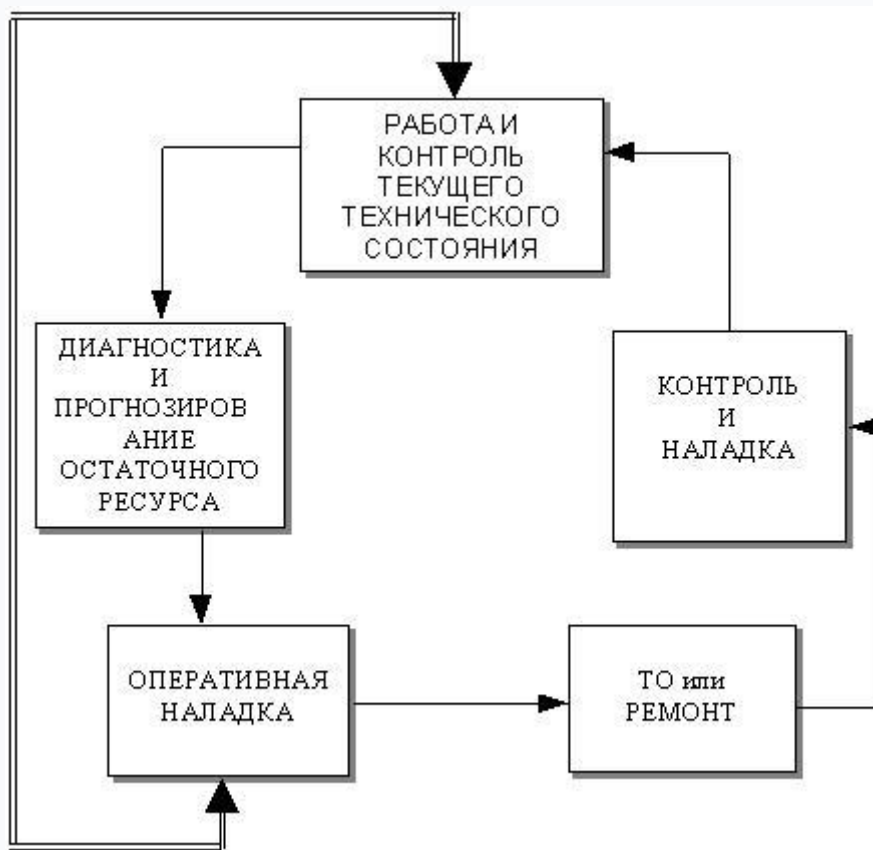
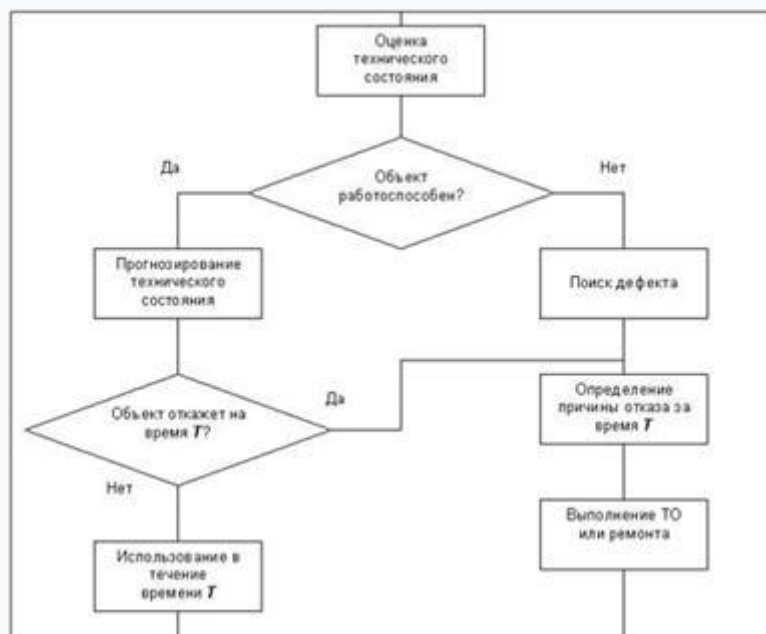


Рис. 2 Технология обслуживания «по состоянию»

Основой такого вида ТО является техническое диагностирование (ТД) и прогнозирование состояния ГШО. С помощью средств ТД проводят непрерывный или периодический контроль параметров состояния. Прогнозирование выполняется при непрерывном контроле для определения времени, в течение которого сохранится работоспособное состояние, а при периодическом контроле – для определения момента времени следующего контроля.

Результаты диагностирования и контроля – основа для принятия решений о необходимости ТО, времени его проведения и объеме, а также о времени проведения очередного контроля технического состояния.

Схема взаимодействия показана на рисунке:



Реализация ТО по состоянию связана с затратами на диагностирование и прогнозирование, поэтому применять такой вид ТО целесообразно, когда экономические затраты не являются определяющими (оборудование первой группы надежности) или когда этот метод экономически более выгоден. Одним из условий применения метода является также преобладание у данного вида оборудования постепенных и предупреждаемых отказов над внезапными.

Необходимые условия применения ОФС:

- экономическая целесообразность;
- наличие диагностической (приборной и инструментальной) базы;
- методики определения ТС и его прогнозирования;
- наличие соответствующего программного обеспечения;
- квалифицированный (обученный) персонал;
- контролепригодность оборудования;

В практике контроля технического состояния ГШО применяют следующие системы технической диагностики и неразрушающего контроля (ТД и НК):

- Измерение ударных импульсов подшипниковых узлов;
- Центровка с помощью электронно-механических (дешевых) или лазерных систем (дорогих);
- Измерение вибрации (общего уровня, спектрального анализа) роторных машин;
- Измерение температуры – контактное и бесконтактное (пирометрическое);
- Визуальный контроль (эндоскопическое обследование);
- Определение состояния масел и смазок (вязкость, содержание воды и механических примесей);
- Дефектоскопия и толщинометрия стенок сосудов, труб и корпусных конструкций;
- Измерение сопротивления изоляции кабелей и обмоток электрических машин, трансформаторов;
- Анализ состава газов и многое другое;

Ключевым вопросом эффективности применения ТО по состоянию является задача выбора стратегии диагностирования и назначения допустимых уровней и параметров. Существуют несколько вариантов стратегии, зависящие от особенностей поведения параметров оборудования, возможности прогнозирования и применяемых систем ТД и НК.

Важным элементом системы ТО по состоянию является служба технической диагностики или надежности оборудования (НадО:2010). В ее задачи входит выполнение плановых обследований оборудования, заявок на внеплановое диагностирование, участие в приемке оборудования из ремонта (выходной контроль), а также выдача рекомендаций по предотвращению дальнейших отказов по результатам проведенного анализа. Необходимо обеспечить достаточный статус службы, весомость ее рекомендаций для всех технических руководителей данного предприятия. Сотрудники службы должны быть обучены применению средств диагностики и выявлению достоверных результатов по международному стандарту IORS:2010 (Надежные стандарты, надежность организации).

Прогнозирование технического состояния (ТС) является наиболее эффективным методом повышения эксплуатационной надежности ГШО путем своевременного проведения мероприятий по ТОиР. Прогнозирование позволяет предупреждать как постепенные отказы, так и внезапные. Обычно в практических применениях прогнозирования ТС некоторого объекта выполняют одновременно два прогноза. На короткий интервал времени в оперативных целях планирования использования по назначению, до нескольких дней, а также на интервал от недели до нескольких месяцев с целью планирования технического обслуживания и ремонта.

Прогнозирование представляет собой процесс определения технического состояния объекта на предстоящий интервал времени и оно основано на применении методов экстраполяции явлений на будущее время по известным результатам наблюдений ТС ГШО за предыдущий период.

Прогнозируемыми параметрами могут быть:

- эксплуатационные параметры, измеряемые штатными приборами автоматической системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), при этом применяется функциональная диагностика без вывода оборудования из эксплуатации;
- параметры технического состояния, измеряемые переносными приборами с остановкой оборудования и/или частичной разборкой ГШО.

В зависимости от используемого математического аппарата различают следующие основные направления прогнозирования:

- экспертные оценки, когда мнения экспертов о будущем состоянии оборудования собирают путем опроса или анкетирования, обрабатывают и получают прогноз.
- аналитическое, когда в результате прогнозирования определяется величина контролируемого параметра (параметров), характеризующего ТС ГШО во времени;
- вероятностное, когда в результате прогнозирования определяется вероятность выхода (невыхода) параметра (параметров) ТС за допустимые пределы;
- статистическая классификация (распознавание образов), когда в результате прогнозирования определяется класс диагностируемого объекта по критерию работоспособности.

На практике исходными данными для проведения прогнозирования по любому из методов является история измерения параметров во времени. Если интервалы между измерениями равны, то такой ряд измерений называют временным. Некоторые методы прогнозирования требуют, чтобы ряд был именно временным – без пропусков значений с одинаковыми интервалами времени.

Большинство факторов, влияющих на надежность ГШО, являются случайными, поэтому многие параметры надежности носят вероятностный характер и для их определения используется математический аппарат теории вероятностей и математической статистики.

Выполняемые работы:

- Сбор данных по имеющейся инфраструктуре средств ТД и НК, состоянию нормативной базы, производственной культуры предприятия;
- Анализ экономической целесообразности применения метода для групп оборудования А, В;
- Рекомендации по выбору параметров ТОиР по состоянию:
 1. Номенклатура обследуемого оборудования;
 2. Периодичность контроля;
- Организационное обеспечение, создание или реорганизация службы НадО:2010;
- Выбор средств ТД и НК, методов прогнозирования технического состояния ГШО;
- Реализация технологии ТО по состоянию с применением средств ТД и НК в АСУ;
- Анализ результатов применения рекомендаций, корректировка (6-12 месяцев).

Параллельно с работой ГШО с определенной периодичностью (обычно достаточно это сделать 1 раз в месяц) осуществляется контроль текущего технического состояния механизма по измерению соответствующих параметров. Анализ этих параметров во времени позволяет отслеживать реальную динамику происходящих

изменений и обоснованно прогнозировать сроки и содержание наладочных работ, ТО и ремонтов. Введение операций контроля и, при необходимости, наладки, позволяет существенно улучшать качественное состояние механизмов после прохождения ремонта.

При этом необходимо понимать, что проведение любого, даже капитального ремонта ГШО, ни в коей мере не гарантирует, что все проблемы решены и его можно смело эксплуатировать без всяких ограничений. Только послеремонтный (выходной) контроль даёт объективную картину о действительном состоянии механизма. После ремонта виброактивность механизма может действительно существенно снизиться, но также может не измениться или даже возрасти. Специалистами компании «Балтех» были выработаны практические критерии по выходному контролю. Было выявлено, что если вибрация по результатам спектрального анализа в течение 48 часов после ремонта ГШО не увеличилась более чем на 2 дБ или понизилась относительно первого контурного обследования, то оборудование пройдет нормальный период приработки и будет долго работать. Естественно, что причина может быть в качестве ремонта (дефектные узлы, плохой монтаж и т. д.), но очень часто такое происходит и тогда, когда никаких претензий по ремонту нет. И в этом нет ничего мистического или необъяснимого. Дело в том, что любой механизм, например небольшой насос, на самом деле в динамике (т.е. при работе) представляет собой сложную колебательную систему, поведение которой зависит от множества факторов (например, гидродинамики). Поэтому послеремонтный (выходной) контроль и, при необходимости, наладка, являются важнейшей фазой технологии ОФС, гарантирующей продление эксплуатационного ресурса оборудования.

Ещё одно достоинство технологии ОФС состоит в том, что в настоящее время в большинстве случаев производители измерительной аппаратуры предлагают предприятиям горнодобывающей и горноперерабатывающей отрасли не только измерительные приборы, методики, но и соответствующее программное обеспечение по автоматизированному ведению компьютерных баз данных измерений, что существенно упрощает процедуру анализа, ведения баз данных и расширяет возможности пользователя по достоверному прогнозированию остаточного ресурса ГШО, сроков и объемов технического обслуживания и ремонта.

Итак, в чём же основные достоинства технологии ОФС?

Достоинства технологии ОФС

Переход на технологию обслуживания ГШО «по состоянию» позволяет:

- контролировать реальное текущее техническое состояние оборудования и качество их ремонта;
- уменьшить финансовые и трудовые затраты при эксплуатации оборудования;
- продлить межремонтный период и срок службы механизмов;
- сократить потребность в запасных частях, материалах и оборудовании;
- избавиться от «внезапных» поломок механизмов и остановок производства;
- планировать сроки и содержание технического обслуживания и ремонта;
- повысить общую культуру производства и квалификацию персонала.

В заключение этой части статьи хотелось бы ещё раз предостеречь руководителей предприятий от догматизма как в отношении технологии ППР, так и в отношении технологии ОФС. Реально, на практике технология ОФС всегда представляет собой комплексную технологию, включающую в себя как элементы контроля, диагностики и наладки по вторичным параметрам, так и процедуры ревизий и обслуживания «по регламенту». Особенно важно понимание всех руководителей технических подразделений, что нельзя перейти на «модное» в последние годы ОФС за короткий срок без оснащенных и квалифицированных кадров, имеющих большой опыт работы по системе ППР.

○ Проактивное или предотвращающее обслуживание (ПАО)

Эта форма технического обслуживания использует все методы прогнозирующего и профилактического обслуживания, оговоренные выше, совместно с анализом коренных причин отказа, чтобы не только обнаруживать и точно определять возникающие проблемы, но и гарантировать, что выполнена надлежащая установка и проведены наилучшие методы ремонта, включая потенциальное повышение надежности или изменение конструкции оборудования, чтобы избежать или устранить повторение проблемы (например, плазмонапыление шеек валов и отдельных деталей, использование гидрогаек, съёмников и индукционных нагревателей подшипников). Проведенные исследования показали, что затраты при таком способе работы составляют приблизительно 240руб на 1кВт в год. Преимущества данного подхода в том, что он прекрасно работает, если персонал имеет достаточно знаний, навыков, и времени, чтобы выполнять все заданные действия. Как и в программе, основанной на прогнозирующем обслуживании (ОФС), ремонт оборудования может быть намечен поэтапно, но при этом дополнительные мероприятия должны быть сделаны, чтобы обеспечить усовершенствования для снижения или устранения повторного появления потенциальных проблем. Итак, ремонт ГШО может быть намечен постепенным способом, и это дает Вам некоторое время на выполнение мероприятий по закупке материалов, необходимых для ремонта, что уменьшает потребность в большом количестве запасных частей. Так как техническое обслуживание и ремонт выполняется только когда

это необходимо, и проведены меры для полного исследования причин отказа, а затем определены способы повышения надежности машин на основании проведенного анализа причин, то может иметь место существенное увеличение экономической эффективности и производительности ГШО. В мировой практике технического обслуживания это самая распространенная форма ТОиР, к сожалению нам известны небольшая часть российских предприятий, работающих по данной концепции. В основном это предприятия с иностранным капиталом и системой управления.

Этот метод требует очень хорошо подготовленные кадры в профилактических, прогнозирующих, и предотвращающих (проактивных) стилях обслуживания, или привлечения на эти работы высококвалифицированных подрядчиков (субподрядчиков), которые тесно работают с обслуживающим персоналом в стадии анализа коренных причин отказа, а затем оказывают помощь в ремонте и планируют (проектируют) изменения.

Для проведения таких работ обязательно требуется наличие приборов и систем ТД и НК и должным образом обученный персонал. Если организация работает в стиле обслуживания по отказу (реагирующее) или планово-предупредительного ремонта, управление производства и обслуживания должно перестраиваться на новые стратегии, что может быть проблематично, если отдел технического обслуживания (НадО:2010) не оснащается необходимым оборудованием, не проводится практическое внутреннее и внешнее обучение персонала для понимания новых методов, не регламентируется время необходимое для сбора данных, или не разрешается остановка оборудования, когда проблема идентифицирована, не определены процессы и процедуры для проведения анализа отказов оборудования, а также не проводится модификация отдельных узлов для увеличения надежности всей машины в целом.

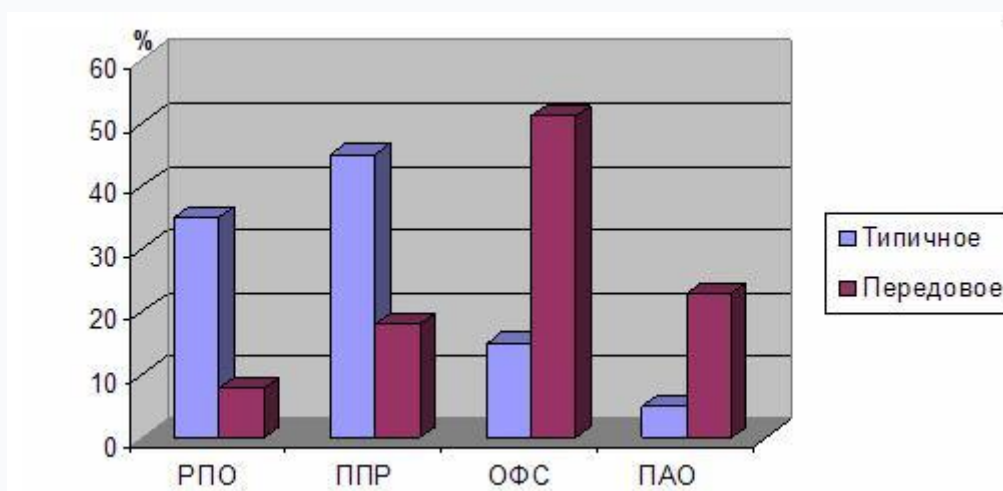


Рис.3 Соотношение использования различных форм ТО на передовом и типичном предприятии

Далее представлена сводная таблица из которой видно, что у каждой из представленных форм ТО есть свои достоинства и недостатки:

Система ТОиР	ДОСТОИНСТВА	НЕДОСТАТКИ
РПО	Не требует больших финансовых вложений на организацию и техническое оснащение службы ТОиР	Высокая вероятность внеплановых простоев из-за внезапных отказов приводящая к дорогостоящим и продолжительным ремонтам.
ППР	Система хорошо развита, имеет отработанную методологическую основу и позволяет поддерживать заданный уровень исправности и работоспособности оборудования	Базируется на статистических данных историй отказов аналогичного оборудования с заложенным коэффициентом надежности, следовательно, для обеспечения заданного уровня его работоспособности изначально планируется объем работ превышающий требуемый фактически. Статистическая наработка не исключает полностью вероятность внепланового отказа.
ОФС	Исключает вероятность аварийных отказов и связанных с ними	Может быть осуществлена только посредством постепенного перехода от системы ППР и требует

	внеплановых простоев оборудования.> Позволяет прогнозировать объемы технического обслуживания и производить ремонт исключительно дефектного оборудования	полного пересмотра организационной структуры. Требуется первоначально больших финансовых вложений для подготовки специалистов и технического оснащения службы ТОиР.
ПАО	Максимальное увеличение межремонтного срока за счет подавления источников отказов. Используются самые прогрессивные технологии технического обслуживания, ремонта и восстановления оборудования.	Требуется трудоемкий анализ всех отказов с целью выявления их источников. Очень гибкая организационная система, постоянно требующая оперативного решения и внедрения ряда мероприятий.

Как показывает практика, не существует ни одного предприятия в чистом виде использующего только одну из представленных стратегий управления системой ТОиР. Более того, переход от системы ППР к системе ОФС сопряженный с перестроением всей структуры ТОиР, во многих случаях приводит к обратному эффекту – обратному «скатыванию» на ППР. Причина этого в несогласованности планирования действий отдельных подразделений предприятия, нехватке специально подготовленного персонала и слабом техническом оснащении ремонтных служб.

Сам переход на передовые формы ТО (ОФС и ПАО) невозможен без постановки грамотной службы технической диагностики. Неверно также утверждение, что идея ОФС состоит в устранении отказов оборудования путем выявления имеющихся или развивающихся дефектов только по совокупности виброакустических характеристик. Системы ОФС и ПАО должны базироваться на обязательном использовании целого ряда методов технической диагностики и распознавания технических состояний, которые в сочетании позволяют определить весь спектр дефектов, возникающих в технологическом оборудовании предприятия. Концепция «Надежное оборудование» это концептуальный подход к постановке эффективной системы технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования базирующийся на глубоком исследовании, как физических причин его аварийных отказов, так и выявлении пробелов в организационной структуре. Разработанный алгоритм решения проблемы повышения надежности оборудования позволяет гарантировать экономически эффективные результаты, связанные с корректным переходом на концептуальное обслуживание, подходящее данному предприятию.

○ **Концепция «НадО:2010» (комбинированная концепция надежности оборудования).**

После проведенного анализа ТО понятно, что в зависимости от отрасли и специфики предприятия должны использовать в совокупности все формы ТО в разных пропорциях и только в этом случае будет достигнут максимальный экономический эффект. Ниже приведен практический пример первого этапа технического аудита, проведенного на одном из горно-обогатительных комбинатов на Северо-Западе России специалистами компании «Балтех».

КОНЦЕПЦИЯ «НАДЕЖНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ»		
Основные причины выхода из строя оборудования		
Закупка неликвидной продукции	43%	- оборудования - подшипников - инструмента - смазки и пр.
Не соблюдение правил и норм транспортиров-ки и хранения продукции на складе	22%	- несоответствие требованиям хранения складских помещений - переконсервация продукции хранящейся на складе
Эксплуатация с нарушением требований ТУ	19%	- по нагрузке (вибрации) - по температуре - по параметрам смазки - прочие параметры
Некачественное текущее обслуживание и ремонт оборудования	36%	- нет постановки задач надежности - несоосность - остаточный дисбаланс - проведение ремонтов без съемников и нагревателей
Дефекты при монтажно-демонтажных работах	44%	- подшипниковых узлов - узлов крепления и фундаментов

Естественный износ	5%	- деградация материалов
Дефекты собственного изготовления з/ч	9%	- входной/выходной контроль
Низкая квалификация персонала	37%	- нехватка технических специалистов
Низкая культура производства	72%	- социально-производственные факторы
Не применяется триада надежности	90%	- измерение уровня надежности ремонта - глубокий анализ причин аварий, - мероприятия повышения надежности

За 100% взято 100 единиц динамического оборудования. После аудита было выявлено, что даже новое оборудование, установленное силами РМЗ имеет пониженный начальный коэффициент надежности из-за неправильного проектного технического задания, неправильной транспортировки, плохих и продолжительных условий складского хранения и низкого уровня монтажных работ вентиляционных агрегатов на несоответствующий нормам СНиП фундамент.

Основные этапы концепции

Данная концепция состоит из 6 основных этапов. Каждый из перечисленных ниже этапов основан на решении задач предыдущего уровня с целью наиболее полной его проработки.

Этап 1. Выявление проблемы

Определение проблемы повышения надежности оборудования является основополагающим этапом ее решения. Глубина подхода на данном этапе определяет экономический эффект от внедрения настоящей программы.

Индивидуальный подход к решению проблемы определяется набором инструментов, используемого для ее выявления и исследуемых ключевых моментов.

В качестве инструментов может быть использована комплексная оценка положения проведенная подготовленными техническими аудиторами собственной группы надежности (отдел ТД и НК), либо оценка, проведенная специалистами компании «Балтех».

В качестве исследуемых ключевых моментов может быть произведен профессиональный аудит:

- общего технического состояния оборудования;
- анализ повторяющихся отказов/сбоев работоспособности оборудования;
- уровня технологии средств используемого для технического обслуживания оборудования;
- уровня квалификации штатного персонала или уровень подрядной организации;
- вида используемого на предприятии технического обслуживания
- особых моментов используемого вида технического обслуживания;
- уровня общей эффективности предприятия, включая производительность оборудования, затраты на закупку запчастей и техническое обслуживание;
- общего уровня производственной культуры и наличие системы качества;
- система закупки, транспортировки и складского хранения оборудования и др.

Этап 2. Разбиение проблемы на составляющие

После выявления степени и величины суммарной проблемы повышения надежности оборудования следует произвести разбивку на ее составляющие. Определение составляющих общей проблемы проводится по каждому из исследуемых ключевых моментов.

Результатом данного этапа должно быть выявление слабых мест структуры предприятия в целом (например документирование и паспортизация).

Этап 3. Определение стратегии и план решения проблемы

Стратегия решения проблемы повышения надежности оборудования определяет степень и уровень локализации опасных моментов. Она может быть частичная (удаление только наиболее проблемных аспектов), либо полная (комплексная).

Важно определить что подлежит корректировке: причина или следствие проблемы и/или что устранять в первую очередь.

Стратегия и план решения проблемы определяется предприятием на основе предложения auditors отдела ТД и НК.

Этап 4. Выбор надежных средств технических решений и разработка программы повышения квалификации специалистов

Выбор средств технических решений определяется целесообразностью их использования на основе расчета экономического эффекта от их внедрения. При расчете необходимо руководствоваться выбранными критериями и требованиями к уровню надежности 1R, 2R или 3R. Выбор средств технических решений определяется предприятием на основе предложений опытных технических специалистов данного предприятия и концепции, разработанной группой технических auditors. Разработка внутреннего стандарта надежности и сертификация по стандарту IORS:2010 должны проходить (рекомендация) на основе процессного подхода 3R (ответственные и полномочия, политика надежности и ресурсы, и др.).

Этап 5. Комплексное решение проблемы

На основе 3 и 4 этапов программы формируется комплексное решение проблемы повышения надежности оборудования. Если предприятие сертифицировано по системе менеджмента качества, то менеджерам отвечающим за качество продукции необходимо сделать коррекцию во внутреннем руководстве по качеству с учетом требований технического подразделения (например: отдела главного механика или главного энергетика).

Внедрение комплексного решения или сертификация по стандарту IORS:2010 происходит при помощи аттестованных по IORS:2010 внутренних или внешних auditors.

Этап 6. Контроль результатов внедрения программы

Процесс оценки уровня надежности оборудования, корректировка и внедрение улучшений должно происходить с утвержденной периодичностью не зависимо от достижения поставленного уровня надежности.

Удовлетворенность потребителя (внутренний потребитель оборудования – это технологи) от внедрения программы должно иметь самую важную роль, именно поэтому очень важен контроль, анализ и улучшение результатов по повышению надежности оборудования.

Вся концепция должна внедряться в соответствии с требованиями технического надзора в области экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов в горнорудной и угольной промышленности, диагностике горно-транспортного, горно-шахтного и обогатительного оборудования.

За основу как мы видим должен быть взят коллектив отдела ТД и НК. Давайте рассмотрим эти понятия подробнее.

Техническая диагностика - это установление и изучение признаков, характеризующих наличие дефектов в машинах (узлах), для предсказания возможных отклонений в режимах их работы. Из определения видно, что процедура изучения (анализа) признаков дефектов должна документироваться всегда. Далее определим основные задачи ТД и основные направления необходимых работ НК и обеспечения надежности.

Основными задачами технической диагностики являются:

- Повышение уровня безопасности оборудования
- Обеспечение надежности работы оборудования
- Сокращение длительности вынужденных (аварийных) простоев
- Сокращение времени ремонтов
- Увеличение межремонтного интервала
- Повышение качества ремонта
- Оптимизация технологического процесса
- Удешевление ремонта (исключение замены исправных деталей, выявление причин дефекта)

Основные направления для определения и изучения признаков, характеризующих проявление и развитие дефектов в узлах и агрегатах машин для предсказания возможных отклонений от нормальных режимов работы методами ТД и НК

МЕТОДЫ	ОБОРУДОВАНИЕ
Вибродиагностика и вибромониторинг	Энергомеханическое оборудование с движущимися частями

Акустико-эмиссионная диагностика	Сосуды давления, резервуары, трубопроводы, несущие конструкции
Трибодиагностика (анализ качества смазки (масла) и выявления частиц износа)	Трущиеся элементы (подшипниковые узлы, ответственное энергомеханическое оборудование)
Тепловидение и термография	Электроэнергетическое оборудование, теплообменное оборудование, теплоизоляция, котлы, печи и др.
Анализ токов и электроимпульсное тестирование	Токопроводящая часть и изоляция оборудования
Аэроультразвуковой контроль утечек (вакуумные утечки)	Компрессионное оборудование
Ультразвуковая дефектоскопия	Состояние и толщина стенок трубопроводов, сосудов и резервуаров
Параметрическая диагностика технологического процесса	Технологическая или механическая деградация, коррозия и пр.

Опираясь на основные достижения средств ТД и НК необходимо провести оптимизацию контролируемых параметров по нескольким критериям (например все диагностические и ремонтные данные хранятся в компьютеризированной системе управления системы ТОиР). Надо определить необходимые и достаточные условия по выбору аппаратных средств функциональной и тестовой диагностики в зависимости от выбранных методов прогноза технического состояния ГШО, а также инструментов и форм документов удобных для анализа (например, приборы центровки, динамической балансировки, виброанализаторы, пирометры, тепловизоры, индукционные нагреватели, стенд входного контроля подшипников качения, съёмники, стационарные системы контроля работают по регламенту единой автоматизированной базы данных). Необходимо определить пороги для конфигурации глубины развивающихся дефектов и установить величину опасной зоны. При этом необходимо понимать различие между мониторингом и диагностикой не зависимо каким видом систем вы будете пользоваться (переносные, стендовые или стационарные).

МОНИТОРИНГ - распознавание текущего технического состояния механизма;

- сравнение диагностических параметров с пороговыми значениями
- прогноз изменений диагностических параметров

ДИАГНОСТИКА - выявление причин и условий, вызывающих неисправности, и принятие обоснованных решений по их устранению.

- определение вида и величины каждого дефекта
- сравнение величины дефекта с пороговыми значениями
- прогноз развития (выявление остаточного ресурса)

В зависимости от состояния оборудования: нерабочее, частично рабочее (эксплуатация только на нагрузках ниже номинальных) и рабочее, утверждают этапы и виды измерений.

Этапы проведения диагностических измерений

- После монтажа или ремонта;
- После завершения приработки или в процессе эксплуатации;
- После нарушения технологического режима;
- Перед остановкой на ремонт.

Виды диагностических измерений

Диагностические измерения и исследования оборудования можно условно разделить на два вида:

1. Контрольные измерения:
 - текущее,
 - полное,
2. Специальные измерения

На сегодняшний момент одним из основных регламентирующих международных стандартов принятым Росстандартом для определения критериев оценки диагностического (вибрационного) состояния машин и механизмов различных типов является **ИСО ГОСТ-10816**. Настоящий стандарт является базовым документом для разработки руководств по измерению и оценке вибрации машин. Критерии оценки для машин конкретных типов должны быть установлены в соответствующих отдельных стандартах. В таблице 1 приведены только

временные, примерные критерии, которыми можно пользоваться при отсутствии подходящих нормативных документов. По ней можно определить верхние границы зон от А до С (см. 5.3.1), выраженные в средних квадратических значениях виброскорости v_{rms} , мм/с, для машин различных классов:

- **Класс 1** — Отдельные части двигателей и машин, соединенные с агрегатом и работающие в обычном для них режиме (серийные электрические моторы мощностью до 15 кВт являются типичными машинами этой категории).
- **Класс 2** — Машины средней величины (типовые электромоторы мощностью от 15 до 875 кВт) без специальных фундаментов, жестко установленные двигатели или машины (до 300 кВт) на специальных фундаментах.
- **Класс 3** — Мощные первичные двигатели и другие мощные машины с вращающимися массами, установленные на массивных фундаментах, относительно жестких в направлении измерения вибрации.
- **Класс 4** — Мощные первичные двигатели и другие мощные машины с вращающимися массами, установленные на фундаментах, относительно податливые в направлении измерения вибрации (например, турбогенераторы и газовые турбины с выходной мощностью более 10 МВт).

Таблица 1. Примерные границы зон для машин различных классов

v_{rms} , мм/с	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4
0.28	A	A	A	A
0.45	A	A	A	A
0.71	A	A	A	A
1.12	B	A	A	A
1.8	B	B	A	A
2.8	C	B	B	A
4.5	C	C	B	B
7.1	D	C	C	B
11.2	D	D	C	C
18	D	D	D	C
28	D	D	D	D
45	D	D	D	D

Ниже приведены некоторые практические примеры необходимого диагностического оборудования ТД и НК, а также виды представления отчетной информации.

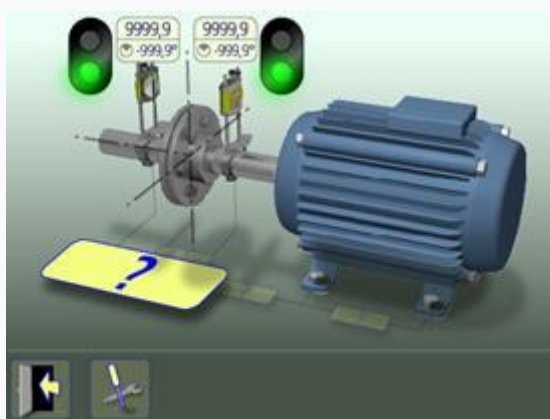


Рис.4 Лазерная система центровки рассчитала допустимые значения по несоосности

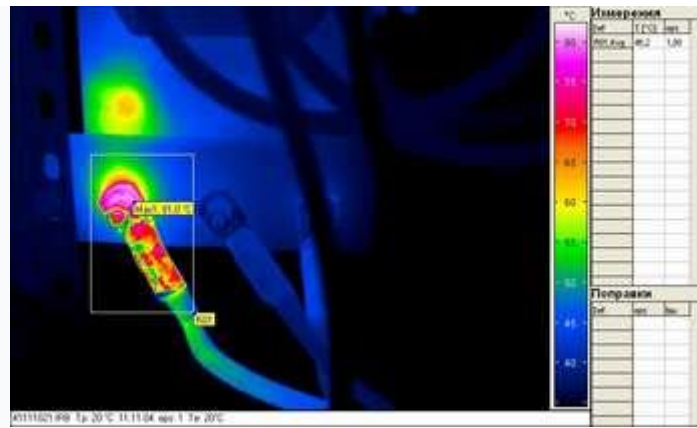


Рис.5 Термограмма (плохой контакт одной из фаз)

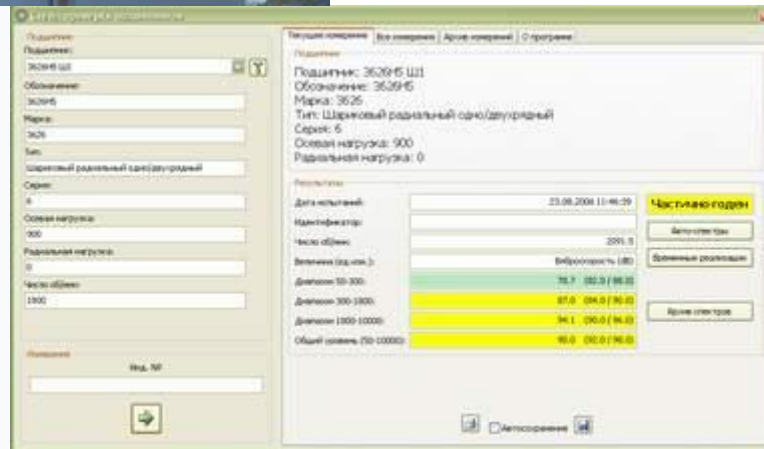


Рис.6 Стенд входного контроля подшипников качения с примером ПО ведения базы данных диагностических признаков дефектации.

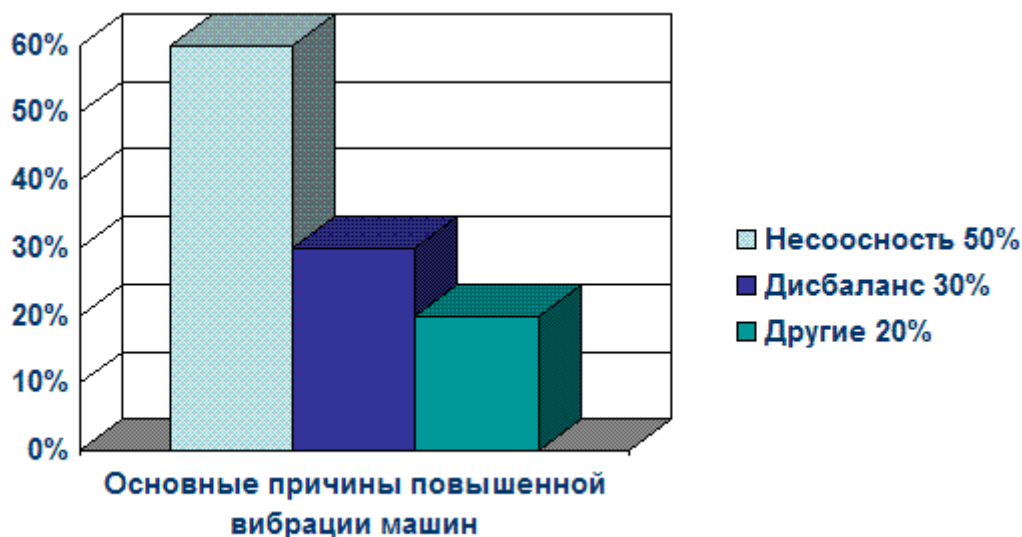


Рис.7 Основные причины повышенной вибрации машин

Подводя итоги вышесказанному нельзя не обратить внимание на статистику основных причин повышенной вибрации машин. Из гистограммы на рис.7 видно, что несоосность ГШО, неточности геометрии машин (параллельность, перпендикулярность валов и направляющих), дисбаланс роторов в большинстве случаев может в совокупности достигать 80%. Результаты 10 летней работы проведения диагностических исследований нашими специалистами показал, что данное правило работает независимо от того на каком этапе жизненного цикла находится машинное оборудование (на этапе приработке, этапе работоспособности или этапе развития дефектов).

Очень приятно, что во всех отраслях промышленности работают основные три ключевых фактора определяющих общий успех предприятия:

- общее понимание необходимости процесса преобразований руководителями (постановка задачи и выбор варианта решения технических задач);
- стремление к внедрению новых прогрессивных технологий и современных аппаратных средств;
- желание поддерживать процессы внедрения новых технологий и качественно новой культуры технического обслуживания оборудования и работы в целом.

Хочется пожелать благополучного развития всем отраслевым предприятиям, которое стало возможным благодаря экономическому росту экономики России в последние несколько лет.