

3. Василенко Ю.П. Металлополімерні трубопроводи [Електронний ресурс] / Ю.П. Василенко // Полімерні матеріали – 2005 - №4.–С 10. - Режим доступу до журн.: http://www.agrovodcom.ru/info_polimer.php
4. Павлов Б.А. Металлопластик в современном мире [Електронний ресурс] / Б.А. Павлов // Полимерные материалы – 2006 - №1.–С5. - Режим доступу к журн.: <http://www.suntrade-s.com/index.php?name=cat=5>
5. Николаенко К.А. Перспективы использования металлопластиковых труб / К.А. Николаенко, Ю.Р. Пархоменко // С.О.К. – 2006 - № 9. С.21-24.
6. Дудкин В.К. Способы сварки полиэтиленовых трубопроводов [Електронний ресурс] / В.К. Дудкин // Полимерные материалы. – 2008 - №1.–С 8. - Режим доступу к журн.: <http://www.meto.ru/trubi.htm>
7. Руденко Т.И. Металлопластиковые трубы для систем отплення / Т.И. Руденко // С.О.К. – 2008 – №7. – С. 18-23.
8. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов / Н.П. Жук. – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.
9. Трубы из структурированного полиэтилена для систем холодного, горячего водоснабжения и отопления. Технические условия: ДСТУ Б В.2.5-17-2001. – К.: Госстрой Украины, 2001 – 36 с.

Надійшла до редакції 06.09.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. Є.М. Смирнов

© Алімов В.І., Штихно А.П., Глущенко М.С., 2010

УДК 669.02/.09:658.58

В.Я. Седуш, В.А. Сидоров

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕМОНТА МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Определены теоретические основы проведения упреждающих ремонтов механического оборудования: сформулированы факторы, определяющие работоспособное состояние механизмов, уровни данных факторов, виды и временные границы ремонтных воздействий. Предложены принципы построения фактической матрицы технических состояний. Разработана структурная схема функционирования механизмов и машин.

Ключевые слова: Механическое оборудование, ремонтные воздействия, работоспособное состояние, увеличение безотказности

Введение

Несмотря на большой опыт, накопленный ремонтными службами, при проведении ремонтов, теоретические основы проведения ремонта практически не рассматривались. Среди работ посвященных проблематике ремонта следует отметить работы Плахтина В.Д., Ловчиновского Э.В., Седуша В.Я. и многих других [1 - 5]. В работе, на основе обобщения известных положений о ремонтах механического оборудования, разработаны и

изложены теоретические основы упреждающего ремонта механического оборудования промышленных предприятий.

1. Целесообразность проведения ремонта

Традиционный ответ на данный вопрос связан с экономическими показателями. Затраты на проведение ремонта обычно меньше, чем покупка нового оборудования. Одновременно, весьма актуальным является и технический аспект, связанный с выполнением функций управления восстановлением работоспособного состояния. Структурная схема функционирования механического оборудования представлена на рисунке 1.

Работа механизма осуществляется под влиянием управляющих воздействий (задается частота вращения, давление, расход, производительность), определяющих режим работы механизма, совместно с частотой включения. Управляющие воздействия устанавливают уровень внешних воздействий на детали и узлы – силовых, температурных и могут влиять на воздействие окружающей среды. Взаимодействие внешних воздействий и внутренних параметров механизма обуславливает выполнение механизмом заданных функций. Отклонение параметров выполняемых функций от заданных значений используется в качестве обратной связи в технологической цепи управления.

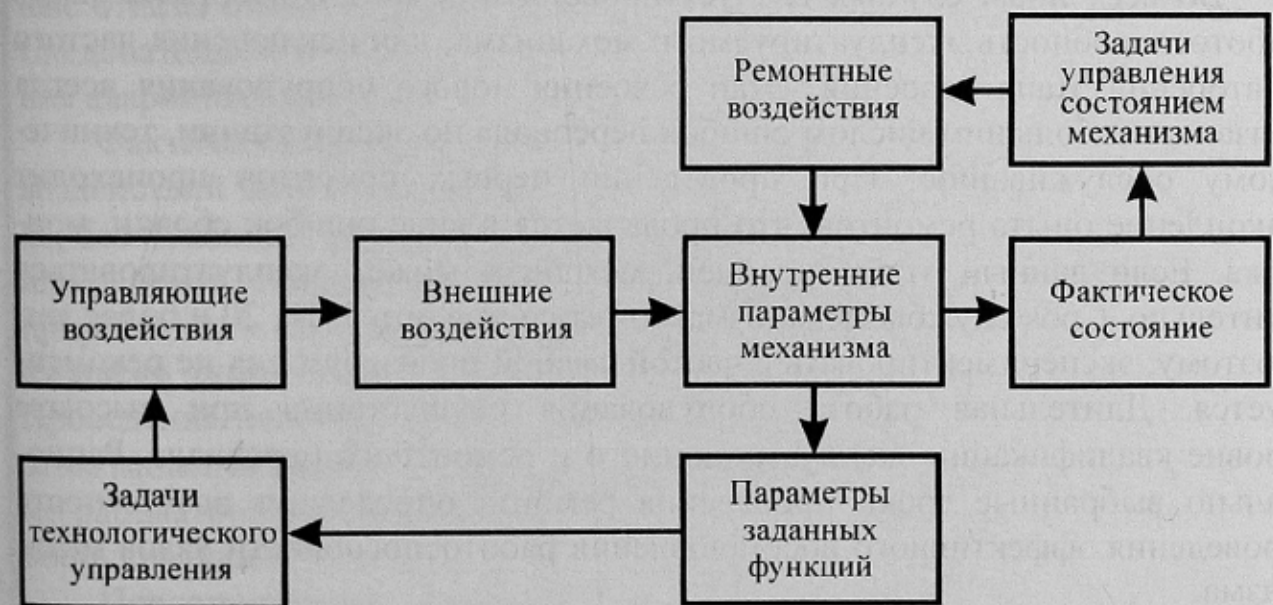


Рисунок 1 – Структурная схема функционирования механического оборудования

Фактическое состояние механизма проявляется в виде значений параметров физических полей – температурных, акустических, вибрационных, электромагнитных. Отклонения от заданных значений должны устраняться путем проведения периодических ремонтных воздействий. Это формирует первый узел противоречий – непрерывность технологического процесса и периодичность проведения ремонтных воздействий.

Задачи управления технологическим процессом известны и достаточно хорошо формализованы – определены законы изменения технологических параметров, требования к выполняемым функциям оборудования, методы и способы контроля за протекающими процессами. Задачи управления механическим оборудованием не определены. Обычно к механизму предъявляются требования по обеспечению заданного уровня надежности – параметров безотказности, реже долговечности. Несовпадение между выполняемыми функциями и фактическим состоянием оборудования проявляется в виде отказов, поломок. Это является вторым узлом противоречий – длительная работа механического оборудования возможна при малых или умеренных нагрузках, а любой технологический процесс предполагает необходимость максимально эффективного использования оборудования.

Проведенный анализ позволяет сформулировать требования, которые определяют необходимость установки нового оборудования – механическое оборудование не обеспечивает заданных параметров (в частности энергоэффективности) и непрерывности протекания технологического процесса. Под нарушением непрерывности протекания технологического процесса понимается следующее – проводимые ремонты не обеспечивают заданного уровня безотказности, и отказы механизма являются причиной остановки технологического процесса.

Во всех иных случаях следует проводить ремонт и восстанавливать работоспособность эксплуатируемого механизма, для исключения частого повторения этапа освоения. Этап освоения нового оборудования всегда связан с наибольшим числом ошибок персонала по эксплуатации, техническому обслуживанию. При проведении первых ремонтов происходит накопление опыта ремонтов, что проявляется в виде ошибок сборки, монтажа. Если данный этап пройден, механизм может эксплуатироваться длительно. Срок службы механизма может составлять 5, 10, 20 и более лет. Поэтому, экспериментировать с частой сменой производителя не рекомендуется. Длительная работа оборудования осуществима при высоком уровне квалификации эксплуатационного и ремонтного персонала. Рационально выбранные сроки проведения ремонта определяют возможность проведения эффективного восстановления работоспособности узлов механизма.

2. Время проведения ремонта

Проведение ремонтов механического оборудования, в процессе эксплуатации, основано на базовой износной модели – типовой кривой износа. Предполагается, что процесс изнашивания деталей машин при эксплуатации имеет три этапа: приработка, этап длительной эксплуатации, катастрофический износ. Исходя из данного положения используются следующие стратегии технического обслуживания и ремонта.

Ремонт оборудования после отказа проводится по отношению к небольшим машинам, имеющим резервирование. Данная стратегия оправдана в том случае, если отказ механизма не приводит к прерыванию технологического процесса. Возникающие отказы непредсказуемы и приводят к существенным затратам по их ликвидации. Непредсказуемость поведения деталей и узлов механизма во время поломки не позволяют широко использовать данный вид ремонта.

Ремонты по состоянию - состояние машин и механизмов контролируется периодически, в зависимости от результатов диагноза и прогноза технического состояния. Ремонт проводится в оптимальные сроки, в необходимом объеме. Основой для этого служит знание фактического состояния. Это позволяет минимизировать объем ремонтов и обеспечить безаварийную работу. Эффективность применения стратегии определяется снижением объемов проведения ремонтов, повышением безотказности работы оборудования за счет проведения своевременного и качественного технического обслуживания.

Планово-предупредительные ремонты должны обеспечивать безотказную работу оборудования путем принудительной замены узлов и деталей в сроки, устанавливаемые на основе статистического анализа отказов. Установленное среднее значение норматива заранее предполагает аварийные отказы одних деталей и замену других, не отработавших свой ресурс. Следовательно, данная стратегия не исключает возможность возникновения аварийных отказов.

Фактически оказывается, что не менее 50% регламентных ремонтных воздействий выполняются без особой необходимости. В некоторых случаях, безотказность работы оборудования после технического обслуживания или ремонта, снижается, иногда временно, до момента окончания процесса приработки, а иногда постоянно. Снижение показателей надежности обусловлено появлением, отсутствовавших до ремонта, дефектов монтажа. Проведение необоснованных ремонтов может стать причиной отказов из-за возможных ошибок сборки. Разборку исправного механизма необходимо рассматривать как основную причину снижения ресурса механического оборудования.

Представленные стратегии технического обслуживания и ремонта следует разделить на реактивные и активные [6, 7].

Реактивные стратегии в той или иной форме отвечают на изменение технического состояния – это ремонт после отказа, либо ремонт по состоянию. Всегда сохраняется возможность, одновременного отказа нескольких механизмов, тогда необходимость в ремонтных работах превысит возможности ремонтной службы, что приведет к остановке технологического процесса.

Активные стратегии влияют на состояние оборудования до возникновения необходимости ремонта путем предупредительной замены узлов и

деталей либо устранением отклонений и неисправностей в работе механизмов. Принудительная замена деталей и узлов (например, замена уплотнений при ремонтах, замена двух подшипников вала) не всегда экономически оправдана, однако повышает безотказность работы оборудования. Проблематичным в данном случае является выбор рациональных сроков и объемов заменяемых деталей.

Существующая стратегия планово-предупредительных ремонтов ориентирует ремонтные службы на преобладание операций по замене изношенных узлов. Практически для воздействия на работоспособность механизма могут быть использованы следующие виды ремонтных воздействий: затяжка резьбовых соединений; смазывание узлов и деталей; регулировка и настройка механизма; замена быстроизнашиваемых деталей; восстановление или замена корпусных деталей. Правильный выбор вида ремонтного воздействия и своевременность проведения обеспечивают не только надежность оборудования, но и влияют на экономические показатели работы ремонтной службы и предприятия в целом.

Эффективность влияния ремонтных воздействий имеет временные ограничения по мере исчерпания ресурса механизма и изменения технического состояния деталей. Затяжка резьбовых соединений – воздействие, позволяющее избежать динамических нагрузок, возникающих при раскрытии стыка соединяемых деталей. Данная операция входит в перечень работ, постоянно выполняемых ремонтной службой. Наибольшая эффективность этого воздействия соответствует начальному периоду и периоду постепенного изнашивания деталей.

Смазка – наиболее ответственная операция, обеспечивающая возможность функционирования механизма. Качественная и своевременная подача смазки позволяет продлить ресурс машины даже при значительных повреждениях элементов.

Регулировка – операция, характерная для заключительной стадии монтажа и начальной стадии эксплуатации. Наибольшее распространение имеют: балансировка роторов механизмов; выверка расположения механизма, включая обеспечение параллельности сопрягаемых поверхностей; центрирование валов механизма и двигателя; регулировка радиального зазора и осевой игры в регулируемых подшипниках. Правильная регулировка механизма – основа длительной эксплуатации.

Замена быстроизнашиваемых деталей проводится для предупреждения их возможной поломки и предотвращения аварийного состояния и должна преимущественно выполняться в начале периода. Под аварийным состоянием следует понимать неконтролируемое и неуправляемое развитие повреждений деталей и узлов механизма. Восстановление корпусных деталей – вынужденное ремонтное воздействие, связанное с нарушением условий нормальной работы механизма или поломкой узлов и деталей.

Каждому из этапов износа соответствуют рациональные виды ремонтных воздействий с позиции их влияния на техническое состояние. Трудность в практическом применении этого заключения состоит в том, что индивидуальность характеристик элементов приводит к тому, что одновременно установленные детали находятся на различных стадиях жизненного цикла. В механизме пара трения взаимодействует с другими элементами, приводя к изменению свойств механизма в процессе эксплуатации, требуя изменения периодичности и видов технического обслуживания и ремонта [8, 9]. Происходит взаимное влияние процессов развития повреждений, что требует использования иных подходов к рассмотрению изменения технического состояния механизма.

Исходя из основных положений теории катастроф, процесс отказа следует представить в следующей последовательности – малые отклонения, происходящие в механизме, приводят к увеличению скорости износа отдельных элементов. При достижении определенных значений износа, не всегда достигающих предельного значения, провоцирующее, иницирующее событие (часто не связанное с процессами износа) приводит к отказу – разрушению детали (рис. 2).

Малые отклонения в работе элементов механизма

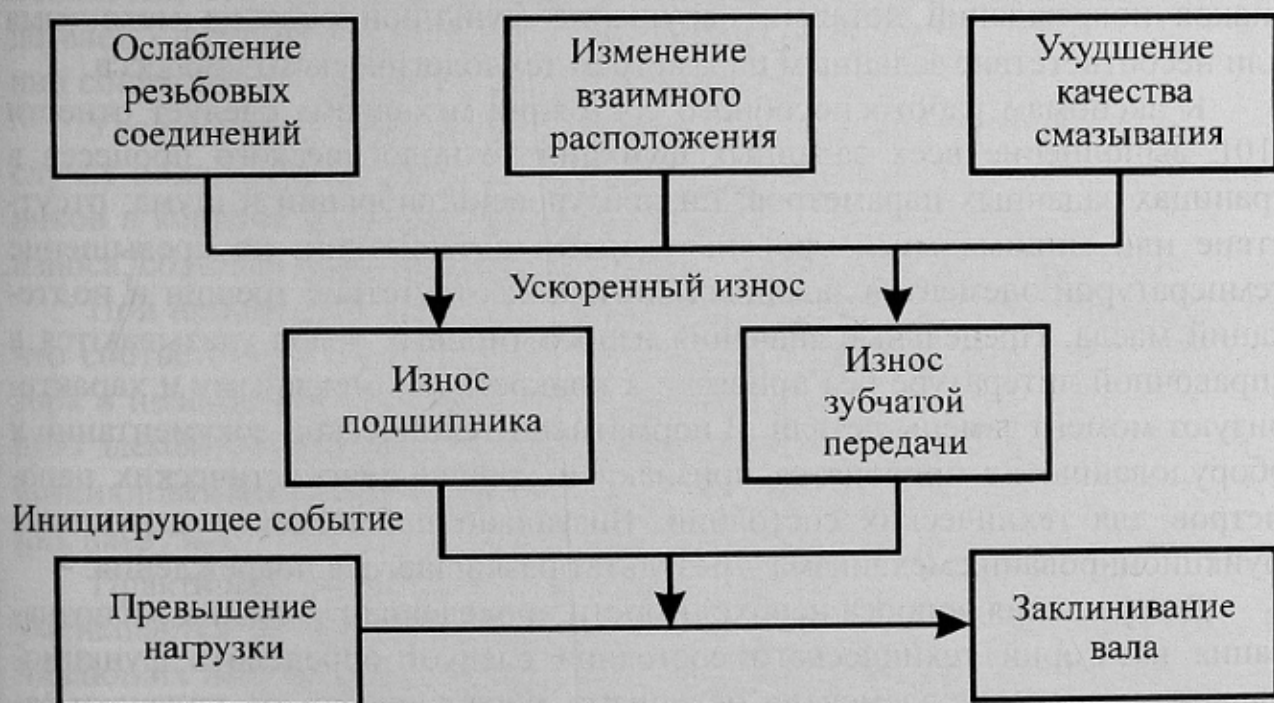


Рисунок 2 – Процесс развития отказа

Существующие методы повышения безотказности и проводимые ремонт в основном ориентируются на уменьшение скорости износа отдельных элементов. Фактически происходит ликвидация последствий, а не причины явления.

Предложенный процесс развития отказа принят исходным для разработки теоретических основ упреждающего ремонта, базирующегося на

информации о техническом состоянии механизма. Эффективное повышение безотказности механического оборудования возможно при обнаружении и ликвидации малых отклонений в узлах и деталях. Необходимым становится учет взаимного влияния элементов, т.е. развитие синергетических представлений при моделировании поведения элементов и развития повреждений механизма.

Упреждающий ремонт проводится до возникновения необходимости замены узлов и деталей, путем устранения отклонений от работоспособного состояния механизма. Для реализации данной стратегии следует определить содержание термина техническое состояние на основе классификации факторов влияющих на работоспособное состояние механизма. Преобладающим в деятельности ремонтных служб, в данном случае становится диагностирование состояния и предупредительное техническое обслуживание. Одновременно решается вопрос обоснования необходимости проведения ремонтов.

3. Необходимость проведения ремонта

В настоящее время ремонт механизма проводится по следующим причинам: нарушение аксиом работоспособного состояния механизма; износ элементов механизма свыше нормативных значений или появление признаков повреждений деталей; нарушение функционирования механизма или несоответствие заданным параметрам технологического процесса.

К аксиомам работоспособного состояния механизма следует отнести [10]: выполнение всех заданных функций технологического процесса в границах заданных параметров; низкий уровень вибрации и шума; отсутствие или минимальный уровень ударных воздействий; не превышение температурой элементов заданных значений; отсутствие трещин и подтеканий масла. Предельные значения износа типовых узлов указываются в справочной литературе без привязки к конкретному механизму и характеризуют момент замены детали. В нормативно-технической документации к оборудованию не приводятся признаки и уровни диагностических параметров для технических состояний. Визуально наблюдаемое нарушение функционирования механизма – результат развившегося повреждения.

Для решения вопроса необходимости проведения ремонта и распознавания категорий технического состояния следует определить функциональное назначение элементов механизма, проанализировать признаки работоспособного состояния и выявить обобщающие факторы, влияющие на работоспособность механизма.

Преобладающим в механических системах является использование типовых конструкторских решений в виде двухопорных валов и рычажных систем. В основе решений лежит ограниченное число функциональных элементов: валы и рычаги; подшипники; опоры и корпусные детали; фун-

даменты; резьбовые соединения; уплотнения; соединительные и упругие элементы; исполнительные элементы.

Анализ основных требований к деталям механизмов позволяет определить факторы, обеспечивающие работоспособное состояние оборудования: состояние неподвижных соединений; состояние узлов трения; взаимное расположение деталей; равномерное распределение сил; накопление усталостных повреждений. Каждый из факторов имеет четыре уровня: исправного состояния, малых отклонений, проведения ремонтных воздействий и предотказный. Уровни факторов определены по изменениям физических процессов износа или взаимодействия элементов. Соответствующие уровни факторов работоспособности элементов определяют техническое состояние механизма: хорошее, удовлетворительное, плохое и аварийное.

Основные предпосылки при определении уровней факторов определены изменением физики процесса износа, например, характера взаимодействия контактирующих либо сопрягаемых деталей.

Состояние неподвижных соединений можно оценить как удовлетворяющее проектным требованиям, в том случае, если сопрягаемые детали неподвижны при приложении нагрузки. Если данное требование не выполняется, это приводит к появлению малых перемещений сопрягаемых деталей - фреттинг-коррозии, что создает условия для развития повреждений сопрягаемых деталей.

Увеличение диаметральных размеров посадочных мест, например, в случае подшипников качения приводит к проворачиванию колец подшипников в корпусе и на валу. Это увеличивает скорость развития процессов износа, создавая предпосылки для возникновения ударов.

При неподвижном соединении элементы нагружаются одновременно, что соответствует параллельному соединению жесткостей. Появление зазора в неподвижном соединении приводит к последовательному нагружению элементов. Жесткость узла изменяется, приводя к раскрытию стыка и возникновению динамических ударов - к изменению характера приложения нагрузки.

Практически мгновенно, при раскрытии стыка, жесткость соединения уменьшается. Возникают динамические явления в узлах механизма, увеличивающих напряжения в деталях. Увеличиваются контактные напряжения, происходит наклеп и разрушение материалов сопрягаемых деталей.

Состояние узлов трения соответствует проектным условиям в случае обеспечения минимального коэффициента трения. Взаимодействие на поверхностях трения при их относительном движении, имеет достаточно сложный характер и рассматривается трибологией охватывающей весь комплекс вопросов трения, изнашивания и смазки машин.

Для исправного состояния характерен окислительный износ и полное разделение контактирующих поверхностей слоем смазочного материала.

Возникновение граничного контакта приводит к преобладанию абразивного износа, увеличению зазоров. Проведение ремонтных воздействий целесообразно при повреждении поверхностного слоя контактирующих деталей, часто сопровождающегося осповидным выкрашиванием. Предотказные явления узлов трения обычно предваряются заеданиями, схватыванием материалов контактирующих деталей.

Аналогичные выводы используются в работе [11] для разработки методики оценки технического состояния механизмов, основанной на вибродиагностике показателя смазочной способности масел (коэффициента трения) в узлах и агрегатах, в процессе их эксплуатации.

Равномерность распределения сил между элементами механизма предполагает рассмотрение степени уравновешенности роторов, различия в распределении сил между однотипными элементами (стопорящими деталями, пальцами, болтами и т.д.) или дорожками качения в многорядных подшипниках качения.

Исправное состояние, в данном случае, характеризуется одинаковыми значениями силовых параметров в элементах механизма. Увеличение нагрузки на подшипниковые опоры из-за неравномерности приложения нагрузки более чем на 30% следует рассматривать как уровень малых отклонений. Срок службы подшипников качения снижается в 2,5 раза.

Уровень проведения ремонтных воздействий ограничивается увеличением нагрузки на подшипниковые опоры более чем на 65%. Двукратное увеличение является признаком предотказного состояния. Срок службы роликовых подшипников при этом снижается в $23,3 = 9,8$ раз.

Взаимное расположение деталей, включая и значения зазоров между сопрягаемыми деталями механизма, соответствующее требованиям нормативно-технической документации принимается как уровень исправного состояния. Наиболее характерный пример – контроль пятна контакта зубчатой передачи. Изменение положения пятна контакта (смещение от делительной окружности, перекося) - ограничивает уровень малых отклонений. Уменьшение площади пятна контакта более, чем на 30% требует проведения ремонтных воздействий. предотказный уровень – снижение размеров пятна контакта до 10...20% нормативного значения.

Накопление усталостных повреждений включает следующие уровни факторов: отсутствие усталостных трещин; зарождение усталостных трещин; развитие и ускоренное развитие усталостных трещин. Этот фактор является труднореализуемым, но необходимым диагностическим параметром в процессе эксплуатации. С позиций виброметрии проводится контроль изменения частот собственных колебаний детали, изменение формы тестовых низкочастотных сигналов при прохождении через поврежденные участки. Ступенчатая форма развития некоторых усталостных трещин в валах механизмов указывает, что источником развития трещин является энергия резонансных механических колебаний. Следовательно, развитие

трещины можно замедлить, изменив характер механических колебаний, влияя, тем самым, на техническое состояние механизма.

На основании предложенной классификации появляется возможность сформировать матрицу технических состояний конкретного механизма, имея ограниченное пространство конечных подмножеств состояний и учитывая взаимодействие элементов. Результаты технического диагностирования должны быть представлены в виде уровней факторов. Рассмотренные факторы работоспособного состояния механизма требуют изменения традиционных подходов к диагностированию методами виброметрии, определяя приоритетные направления контроля. Это потребует как использования известных методик диагностирования, так и разработки новых. Например – определение равномерности затяжки и состояния резьбовых соединений, что весьма актуально для болтов диаметром свыше 50 мм; диагностирование накопления усталостных повреждений.

Отклонение фактической матрицы технического состояния от исходной позволит определить рациональное упреждающее ремонтное воздействие. При этом, преобладающим становятся операции качественного технического обслуживания: смазка, затяжка и регулировка узлов механизма. Контроль технического состояния позволит оценить эффективность проведенных воздействий. Замена деталей становится вынужденным видом ремонтных воздействий. Особое внимание при ремонте необходимо уделить восстановлению посадочных мест.

О возможности и эффективности проведения упреждающих ремонтов свидетельствуют многие практические примеры.

В настоящее время при проведении диагностирования механического оборудования составляется справочник дефектов, в котором указывается характер проявления развитого повреждения. Для эффективного проведения упреждающих ремонтов необходимо сформировать признаки проявления начальной стадии малых отклонений узлов механизма от исправного состояния. Основанием для этого являются предложенные факторы, определяющие работоспособное состояние узлов механизма и уровни изменения данных факторов.

Выводы

Таким образом, установлено, что эффективное увеличение безотказности и управление надежностью механического оборудования возможно при использовании стратегии упреждающих ремонтов. Основой принятия решений на проведение ремонта являются изменения фактической матрицы технических состояний. Направление дальнейших исследований – адаптация методов технического диагностирования для формирования матрицы состояний.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ.

1. Плахтин В.Д. Теротехнология в металлургии. - М.: Металлургия, 1979. - 84 с.
2. Плахтин В.Д. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин: Учебник для вузов. - М.: Металлургия, 1983. - 415 с.
3. Ловчиновский Э.В., Вагин В.С. Эксплуатационные свойства металлургических машин. - М.: «Металлургия», 1986. - 160 с.
4. Ловчиновский Э.В. Реорганизация системы технического обслуживания и ремонта предприятий - М.: «Реинжиниринг бизнеса», 2005. - 385 с.
5. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин: Учебник. - 3-е изд., перераб. и доп. - К.: НМК ВО, 1992. - 368 с.
6. Ширман А.Р., Соловьев А.Д. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. - Москва, 1996. - 276с.
7. SKF: общий каталог. Каталог 4000/1R. Reg. 47-6000-2000 - 974 с.
8. Сидоров В.А. Развитие повреждений элементов компрессора SAB-163 / Научно-технический и производственный журнал „Металлургические процессы и оборудование”, 2005, №2 - С.59 - 63
9. Седуш В.Я., Сидоров В.А. Разрушение подшипников энергетических машин металлургических предприятий / Международный научно-технический и производственный журнал «Вибрация машин: измерение, снижение, защита», № 4 (15) декабрь 2008. С. 26 - 31
10. Сидоров В.А. Аксиомы работоспособного состояния металлургического оборудования / Проблемы механики горно-металлургического комплекса: Тезисы докладов международной научно-технической конференции, 25 - 28 мая 2004 год. - Днепропетровск, НГУ, 2004. С. 103 - 104
11. Глухоманюк Г.Г. Роль высокочастотной области спектра вибрационного сигнала в вибродиагностике механизмов. / «Контроль. Диагностика» №2. 2001.

Поступила в редколлегию 01.09.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. С.П. Еронько

© Седуш В.Я., Сидоров В.А., 2010