

В.Я. Седуш, В.А. Сидоров

Донецкий национальный технический университет

А.Е. Сушко

ООО «Научно-технический центр «Завод Балансировочных Машин»

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Механическое оборудование промышленного предприятия в системе управления технологическим процессом наиболее часто принято представлять в виде «чёрного ящика», генерирующего с определённой периодичностью или случайно – внеплановые отказы, приводящие к остановке производства. История развития промышленности показывает, что на различных этапах изменялись подходы к проблеме обеспечения работоспособного состояния механизмов: применялись после осмотровые, регламентные, предупредительные ремонты, ремонты по состоянию. В настоящее время по отраслям промышленности сформировались индивидуальные подходы к стратегиям технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Именно рассмотрению современных подходов к организации эффективной ТОиР и вопросов, связанных с непрерывностью технологического процесса, посвящена данная статья.

Производственный опыт показывает, что безотказность функционирования механического оборудования обеспечивается своевременным, качественным техническим обслуживанием в соответствии с фактическим состоянием. При этом ремонт является вынужденным, подготовленным действием, проводимым для восстановления исходных свойств машины, а мероприятия ТОиР реализуются в рамках выбранных стратегий и подходов к обслуживанию механического оборудования. Каждая из стратегий исторически обоснована, соответствует определённому уровню развития науки и техники, отвечает принципам организации управления производства и представлениям об «идеальном» результате.

В истории эксплуатации механического оборудования выделяются три основных подхода к проведению ремонтов. Рассмотрим эти подходы более подробно на примере металлургического предприятия.

1. Вынужденные ремонты, ремонты после отказа. Этот подход характерен для 20-х...30-х годов прошлого века. Основание - малое количество металлургических машин, низкий уровень квалификации обслуживающего и ремонтного персонала, отсутствие ремонтной базы и опыта ремонтов. Главная задача – остановить эксплуатируемую машину при первых признаках повреждений и не допустить ее значительных разрушений.



Рисунок 1 – Плакаты 20-х...30-х годов

Техническое состояние механизмов оценивалось при помощи органолептических методов. Основные подходы – анализ шумов механизмов;

восприятие вибрации, включая методы визуализации механических колебаний; определение степени нагрева деталей; визуальный осмотр; методы осязания. Накопление опыта происходило медленно: по мере ликвидации последствий аварий, полученные знания излагались в правилах технической эксплуатации механического оборудования по производствам и отдельным агрегатам. В конце 20-х годов началась разработка базовых принципов организации плановых ремонтов.

2. *Планово-предупредительные, регламентные ремонты.* Рост количества предприятий, увеличение парка машин, использование одинаковых технологий и оборудования в 50-х...60-х годах XX века потребовали повышения безотказности работы механического оборудования на основе достижений науки и техники того времени. Проведенные исследования долговечности деталей машин позволили получить статистические данные и рассчитать рекомендуемые периоды проведения принудительных замен. Предполагалось, что выполнение определенного объема ремонтных работ через равные промежутки времени позволит обеспечить безотказную работу механизмов.

Разработка и внедрение положения о планово-предупредительных ремонтах (ППР) механического оборудования позволили сформировать более совершенную систему ТОиР. Были решены вопросы содержания системы ТОиР; периодичности, продолжительности и трудоемкости ремонтов; их организации, планирования и выполнения; обеспечения запасными частями и др. Систематизированы ремонтные термины, определены формы технической документации, содержание типовых и специфических работ, выполняемых при плановых ремонтах оборудования.

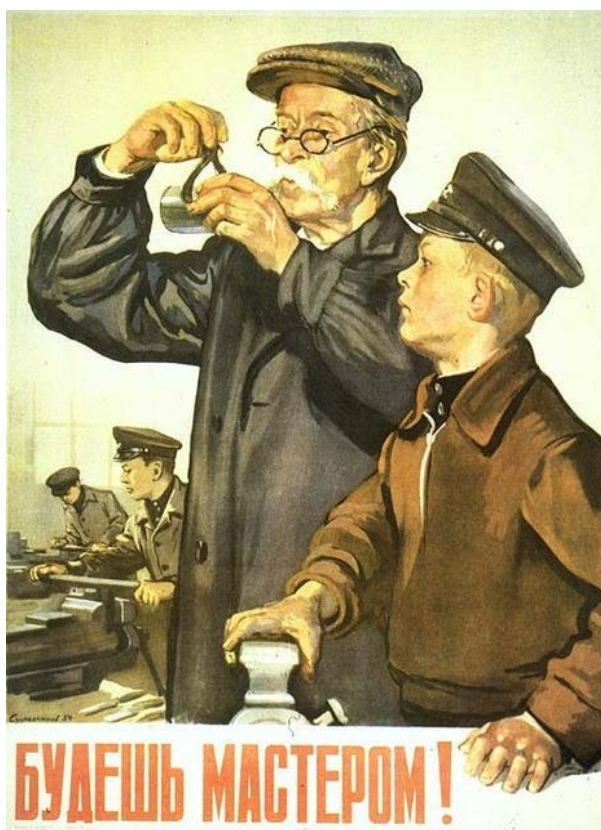


Рисунок 2 – Плакаты 40-х...60-х годов

Вопросы надёжности механического оборудования, как неотъемлемого элемента технологического процесса, вызвали особый интерес в 60-х...70-х годах прошлого века. Это было связано с техническим перевооружением, появлением новых технологий и разработкой уникального оборудования для реализации технологического процесса. Так в металлургии была начата эксплуатация доменных печей объёмом 2700 м³, 3200 м³ и более, мартеновских печей вместимостью 900 т, кислородных конвертеров вместимостью 250 т, блюминга «1300» с проектной производительностью 6 млн. т проката в год и других мощных агрегатов. Уникальность изготавливаемого тяжело нагруженного механического оборудования, отсутствие практического опыта освоения и эксплуатации машин, имеющих индивидуальные характеристики, потребовали исследования показателей надёжности и определения путей обеспечения безаварийной работы.

Несколько позже, в 70-х..80-х годах были проведены исследования нарушения работоспособного состояния оборудования при помощи статистических и вероятностных методов анализа. Эти работы позволили эффективно решать вопросы моделирования параметров надёжности при проектировании, эксплуатации, обеспечении запасными частями. В трудах Гребеника В.М., Гордиенко А.В., Цапко В.К., Седуша В.Я. того времени формулируются принципы сбора, цифрового кодирования и анализа отказов, разрабатываются классификаторы машин, узлов, деталей, видов и причин отказов. На основании алгоритмов обработки полученной информации определяются обобщенные показатели надёжности деталей, рассчитываются законы распределения вероятности потока отказов. Основная цель – определить рациональные периоды ремонта машин, предполагая основным критерием равномерную загруженность ремонтных служб при выполнении текущих ремонтов оборудования.

Системный подход при учете и анализе отказов позволил повысить безотказность работы машин, а разработанная система ППР и в настоящее время используется на предприятиях при проведении ремонтов. Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования рабочих процессов машин для оценки оптимальной долговечности деталей на основании законов распределения параметров надёжности, указывали на значительный разброс ресурса из-за различий в качестве изготовления и эксплуатации.

Установить срок службы элементов оборудования индивидуального и мелкосерийного изготовления, работающего в условиях нестабильных нагрузок, невозможно. Поэтому, в рамках системы ППР была предусмотрена возможность корректировки сроков замен путем проведения ревизий – осмотров деталей и узлов при неполной разборке механизма, проводимых во время текущих ремонтов. Известно, что лишние разборки даже исправного оборудования приводят к ухудшению общего технического состояния механизма. Поэтому уточнение

фактического состояния механического оборудования потребовало использования методов безразборного (неразрушающего) контроля.

3. Ремонт по состоянию. Первые ремонты по состоянию были проведены в конце 80-х - начале 90-х годов. В ряде случаев такие ремонты выполнялись вынуждено – в связи с необходимостью сокращения объёма ремонта, иногда – исходя из фактического состояния оборудования. Основанием для проведения ремонтов по состоянию являлись результаты технического диагностирования, полученные отделами или бюро диагностики, которые сформировались в составе ремонтной службы.

Механическое оборудование является восстанавливаемой технической системой в силу особенностей технологического процесса производства. Разработанные теории процесса восстановления базируются на предположении неизменности свойств машины в процессе эксплуатации. Однако на практике в процессе эксплуатации под влиянием внутренних процессов старения, внешних влияний технологического процесса и проводимых ремонтов данные свойства изменяются. Это обуславливает необходимость совершенствования теории обслуживания восстанавливаемых механических систем с учётом изменения свойств механизмов, получивших обобщающее название – техническое состояние.

Восстановление работоспособности и обеспечение безотказности работы механического оборудования на этапе эксплуатации выполняется путём проведения ремонтов в рамках выбранной стратегии ТОиР. Стратегию проведения ремонта по видам оборудования разрабатывает предприятие с учётом требований правил технической эксплуатации, назначения оборудования, эксплуатационных данных по его надёжности и условий эксплуатации, нормативно-правовых актов по охране труда и окружающей природной среды. Стратегия проведения ремонта группы оборудования на предприятии может содержать следующие виды ремонтов: текущий, капитальный – по степени возобновления ресурса; регламентированный, стандартный, по техническому состоянию – по регламенту выполнения; плановый и неплановый – по методам планирования. Методы проведения ремонтов: необезличенный, обезличенный – с сохранением принадлежности ремонтируемых частей; агрегатный, поузловой, рассредоточенный, поточный, децентрализованный, смешанный, централизованный, фирменный – по организации выполнения.

Для стратегии предупредительного ремонта должны быть установлены типовые регламенты и нормативы периодичности работ. Для стратегии ремонта по фактическому состоянию объёмы работ и сроки ремонтов определяются техническим состоянием оборудования. Для смешанной стратегии используют нормативы периодичности ремонтов, а объёмы работ определяются техническим состоянием. Для стратегии ремонтов по потребности ремонты (неплановые)

производятся в случае отказа или повреждения оборудования.

Первые упоминания о стратегиях технического обслуживания относятся к работам производителей и пользователей диагностической аппаратуры. Обобщая результаты данных работ, виды стратегий технического обслуживания и ремонта следует разделить на плановые и неплановые.

Неплановые стратегии в той или иной форме отвечают на изменение технического состояния: ремонт после отказа, ремонт по состоянию. При этом управление надёжностью механизма осуществляется лишь на этапе восстановления его работоспособности. Существующие стратегии технического обслуживания и ремонта, достоинства и недостатки каждой стратегии рассмотрены с учётом степени применения методов и средств технической диагностики и мере использования диагностической информации для принятия решений.

1. Стратегия ремонтов после отказа применяется в случае использования многочисленных, недорогих машин, с дублированием каждого ответственного участка технологического процесса. Механическое оборудование эксплуатируется до выхода из работоспособного состояния – до отказа. Затраты на техническое обслуживание в этом случае минимальны. Возникающие отказы часто непредсказуемы и приводят к существенным затратам по их ликвидации.

Данная стратегия используется по отношению к вспомогательному оборудованию, имеющему резервирование. При такой стратегии предполагается, что замена механизма дешевле, затрат на его ремонт и обслуживание. При отсутствии резервирования на время ремонта производственный процесс приходится останавливать. Часто при эксплуатации оборудования до выхода из строя проводятся периодические измерения вибрационного состояния машины. Это позволяет рационально выбирать время ремонта и своевременно обеспечивать подготовку к ремонту, переходя к ремонту по состоянию, в некоторых случаях используется термин – послеосмотровые ремонты.

2. Стратегия ремонтов по состоянию. Контроль состояния машин и механизмов осуществляется периодически, через равные интервалы или при уменьшении периодов диагностирования при ухудшении состояния, в зависимости от результатов диагноза и прогноза технического состояния. Ремонт проводится в оптимальные сроки, в необходимом объёме. Основой для этого служит знание фактического состояния механизма. Используемые средства технической диагностики – портативные виброметры, пирометры, анализаторы вибрации.

Достоверная информация о текущем состоянии оборудования, полученная по результатам диагностирования, позволяет минимизировать объём ремонтов и обеспечить безаварийную работу. Эффективность применения стратегии определяется снижением объёмов проведения ремонтов, повышением безотказности работы оборудования за счёт своевременного технического

обслуживания. Одновременно, внеплановая остановка оборудования приводит к нарушению непрерывности технологического процесса, графика выполнения заказов.

На основании информации о техническом состоянии решаются задачи определения рациональных сроков и объёмов ремонта; выявления механизмов с наихудшими параметрами, требующих немедленной замены; оценки качества проведенного ремонта и монтажа нового оборудования. Эффективность решения этих задач обеспечивается за счет ремонта наиболее изношенного оборудования, ликвидации ошибок монтажа и контроля состояния оборудования, вступающего в эксплуатацию после ремонта.

Плановые стратегии влияют на состояние оборудования до возникновения необходимости ремонта путём предупредительной замены узлов и деталей, либо устранением отклонений и неисправностей в работе механизмов – упреждающий ремонт. Принудительная замена деталей и узлов не всегда экономически оправдана, однако повышает безотказность работы оборудования. Проблематичным в данном случае является выбор рациональных сроков и объёмов заменяемых деталей. Если техническое состояние оборудования известно, появляется возможность снизить объёмы ремонтов и увеличить срок службы оборудования. Это осуществляется путём выявления и устранения дефектов и повреждений, приводящих к снижению ресурса.

1. *Стратегия планово-предупредительных ремонтов* должна 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 надёжности обусловлено появлением отсутствовавших до ремонта дефектов сборки. Проведение необоснованных ремонтов может являться причиной отказов из-за дефектов монтажа.

2. *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.

Знание фактического состояния объекта создает принципиально новые предпосылки управления работоспособным состоянием оборудования, существенно меняет стратегию ремонтных служб, ориентируя её не только на своевременную замену, а на преобладание качественного технического обслуживания. В этом случае, необходимо учитывать не только данные диагностирования, но и результаты проведенных ремонтов, зафиксированные отклонения в работе, замечания, устранённые после осмотров и др. Объём информации увеличивается на порядок, но это позволяет определить наиболее благоприятные периоды для остановки технологического комплекса с учётом минимизации рисков и объёмов выполняемых ремонтных работ.

Сравнительная характеристика стратегий технического обслуживания и ремонта приведена в таблице.

Эффективность проводимых ремонтов во многом зависит от принятой стратегии. Правильный выбор вида ремонтного воздействия и своевременность его проведения обеспечивают не только высокую надёжность оборудования, но и повышает экономические показатели работы, как ремонтной службы, так и предприятия в целом. Наибольшее влияние на безотказность машин оказывает упреждающий ремонт, благодаря своевременности, комплексному и целенаправленному воздействию на работоспособность механизма.

В теоретическом аспекте для перехода на ремонт механического оборудования по состоянию, или осуществление упреждающего ремонта, требуется разработать обоснование необходимости проведения ремонтов на основании уточнения содержания термина «техническое состояние». Следует определить категории технического состояния, позволяющие отслеживать и ликвидировать малые отклонения в узлах и деталях. Необходимым становится учёт взаимного влияния элементов и фактического состояния деталей и узлов механизмов. Основание для решения - проведение технического диагностирования в производственных условиях, с использованием данных ваттметрии, переносных приборов и стационарных систем вибрационного и теплового контроля, индикаторов состояния для решения задач управления безотказностью механизмов на основе информации о фактических отклонениях в состоянии узлов.

Таблица - Сравнительная характеристика стратегий технического обслуживания

Наименование стратегии	Сущность	Достоинства	Недостатки	Использование диагностики
Неплановые				
Ремонт после отказа	Механическое оборудование эксплуатируется до выхода из работоспособного состояния – до отказа.	Минимальные затраты на техническое обслуживание.	Непредсказуемость возникающих отказов. Значительные затраты по ликвидации последствий отказов.	Применяется эпизодически для выявления аварийных отклонений в работе оборудования
Ремонт по состоянию	Техническое обслуживание и ремонт проводятся в зависимости от фактического состояния машин и механизмов.	Ремонт проводится в оптимальные сроки, в необходимом объеме.	Отсутствие возможности влиять на сроки и объемы ремонтов оборудования. Нестабильность загрузки ремонтной службы.	Используется постоянно для оценки текущего технического состояния всего парка оборудования и оценки требуемых объемов ТОиР
Плановые				
Планово-предупредительные ремонты	Принудительная замена узлов и деталей в сроки, устанавливаемые на основе статистического анализа отказов.	Повышение безотказности работы оборудования.	Значительные затраты на техническое обслуживание и ремонты. Замена работоспособных элементов.	Применяется периодически для предотвращения аварийных выходов оборудования из строя
Упреждающий ремонт	Выявление и устранение отклонений и неисправностей в работе механизмов.	Снижение объемов ремонтов и увеличение срока службы оборудования.		Используется непрерывно для получения актуализированной информации о состоянии оборудования и оценки остаточного ресурса

Изменения в технологии производства, произошедшие за последние 20 лет, меняют подходы к обеспечению безотказности механического оборудования. Например в металлургии, появление агрегата «печь-ковш» объединяет технологические характеристики электродуговых печей, МНЛЗ и прокатных станов в один металлургический комплекс. Разливка непрерывных серий из 30...70 плавов возможна лишь при полном восстановлении работоспособного состояния механического оборудования в ремонтные дни на основании информации о техническом состоянии. Только полное отсутствие отказов в процессе эксплуатации позволяет обеспечить в сложившихся условиях технологическую безопасность

предприятия. Механическое оборудование, в данном комплексе, выполняет задачу обеспечения непрерывности технологического процесса в рамках заданных параметров. Первоочередной задачей представляется разработка обоснования необходимости проведения ремонтов на основании информации о техническом состоянии.

С позиций кибернетики управление – это получение, хранение и обработка информации для организации целенаправленных действий. Следовательно, для управления безотказностью механического оборудования система технического обслуживания и ремонта должна содержать функции получения и обработки информации о техническом состоянии оборудования. Наличие информации преобразует техническую систему с непредсказуемыми реализациями, обычно представляемую в виде «чёрного ящика» в объект управления с обратной связью на основании анализа информации о результатах функционирования.

Информация, в этом случае, понимается не просто как любые сведения и данные о системе, а как сведения, которые бы одновременно характеризовали степень неопределенности системы (синтаксический уровень), имели бы определенное содержание, смысл (семантический уровень), были бы полезны потребителю информации (прагматический уровень). Именно такая информация должна быть получена для управления. Эта информация должна быть обработана по определенным правилам и использована для выработки управляющих решений, которые должны быть реализованы в конкретное действие.

Использование полученной информации наиболее эффективно в рамках программного комплекса системы технического обслуживания и ремонта механического оборудования включающей следующие основные логические компоненты (рисунок 3):

- статическая часть, включающая сведения, относительно неизменные во времени - данные нормативно-технической документации, опыт эксплуатации, база дефектов оборудования и пр.;

- динамическая часть – данные, накапливающиеся либо изменяющиеся во времени, характеризующие фактическое состояние, загруженность машин, результаты проведенных осмотров и ремонтов, смазки, диагностики;

- информационная часть – формирование и представление итоговой информации: графиков ремонтов, смазки, диагностики, анализ возможности выполнения заказа на основе данных о текущем фактическом состоянии оборудования и прогнозируемых работах, разработка отчетной документации.

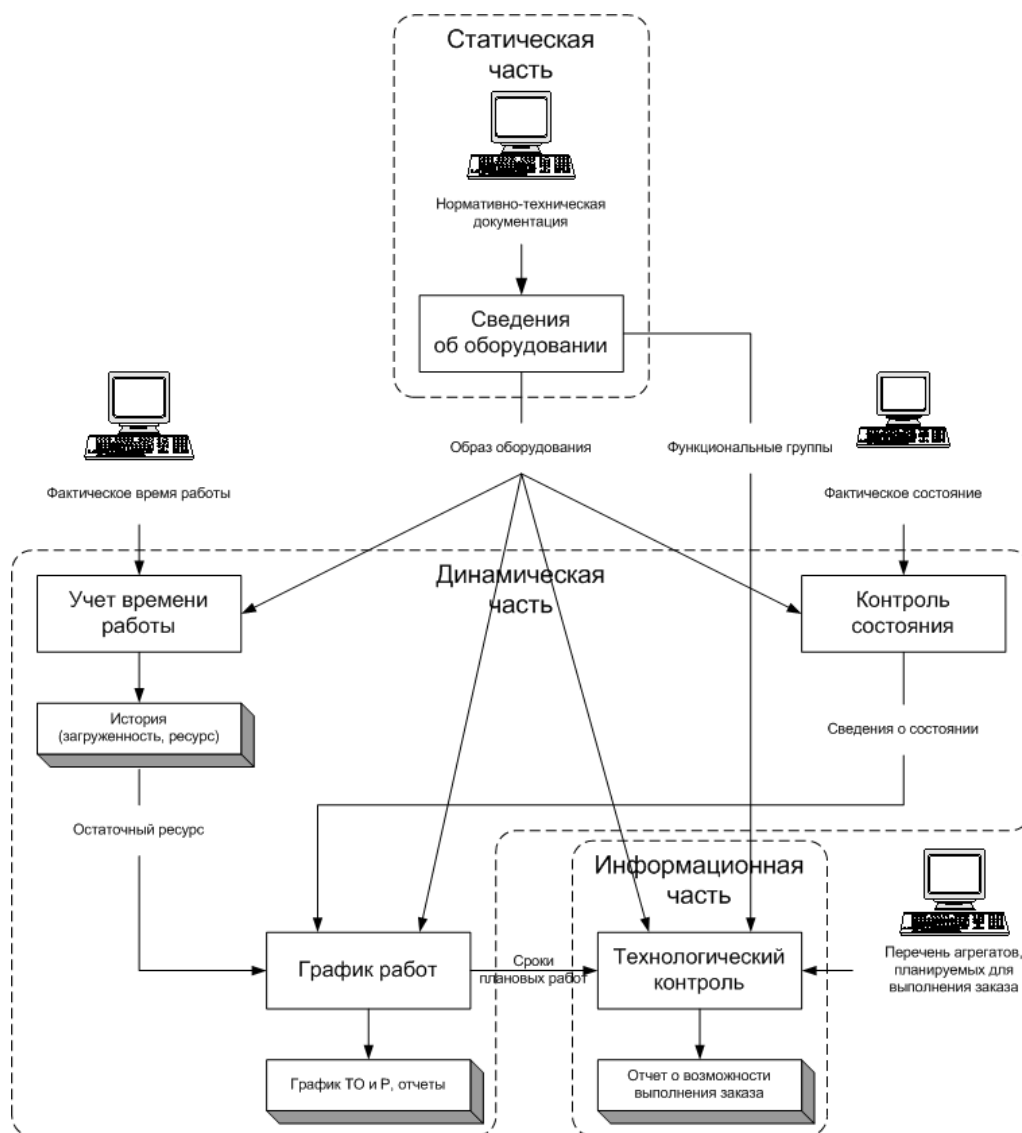


Рисунок 3 - Упрощенная диаграмма потоков данных в программном комплексе системы технического обслуживания и ремонта механического оборудования с использованием информации о техническом состоянии

Современное предприятие - это сложный комплекс разноплановый по условиям эксплуатации, условиям работы и интенсивности износа и восстановления оборудования, включая основные машины, здания и сооружения, транспортное и энергетическое оборудование. Для различных групп оборудования отличаются модели развития отказов, время развития повреждений, риски, затраты на восстановление, текущее техническое состояние. Минимизация возможных потерь в таких условиях, обеспечение непрерывности технологического процесса, рациональное использование средств на ТОиР возможно при наличии общей картины динамики процесса износа и ремонта механического оборудования в рамках единого программного обеспечения. Это позволяет правильно выбрать стратегию обслуживания, относительно конкретного агрегата, осуществлять

планирование ремонтов с учётом совмещения ремонтов на остановленном агрегате, оценивать эффективность принятых решений на основании анализа истории механизма.

На сегодняшний день на промышленных предприятиях различных отраслей в России и за рубежом накоплен колоссальный опыт успешного внедрения методов и средств технического диагностирования. По различным оценкам, даже годовой экономический эффект их применения за счёт сокращения затрат на ТОиР, на содержание склада запасных частей, уменьшения продолжительности внеплановых простоев, исключения аварий, снижения энергопотребления многократно превышает затраты на приобретение этих диагностических средств. Однако для достижения столь высоких показателей сейчас недостаточно закупок отдельных приборов, станков или стендов. Требуется комплексная стратегия внедрения широкого спектра диагностических средств в масштабах всего производства, разработанная по результатам технического аудита с учетом особенностей технологического процесса, текущей оснащённости предприятия, действующей системы ТОиР и др. Информационной основой внедрения данной комплексной стратегии становится программное обеспечение.

В настоящее время существует достаточное количество программных продуктов, для хранения, визуализации и анализа данных вибрационных измерений. В зависимости от квалификации разработчиков и методистов программы отличаются удобством интерфейсной части, глубиной проработки структуры, полнотой анализа данных, достоверностью распознавания дефектов (в случае наличия экспертной части) и др. Однако все эти программы не содержат информации, достаточной для принятия решений по планированию, и не могут быть использованы для организации эффективной стратегии ТОиР.

В этой связи становится очевидным необходимость внедрения универсальной единой диагностической программной платформы для полноценного взаимодействия всех подразделений, прямо или косвенно участвующих в организации ТОиР. К таким подразделениям относятся бюро диагностики, сопутствующие службы (ремонтные, цеховые) и контролирующие органы (служба надежности, техническое руководство).

Обобщая проведенный анализ, подходов к организации технического обслуживания и ремонта механического оборудования, следует отметить необходимость технического и технологического обоснования проведения ремонта или реконструкции механического оборудования с учётом фактического состояния, стоимости и объёма проведенных ремонтов, интенсивности и последствий отказов. Следующим этапом ТОиР может стать переход от функций контроля и защиты к управлению техническим состоянием по фактическим характеристикам

контролируемых параметров оборудования и технологического процесса во времени и далее к прогнозированию – идентификации и управлению явлениями, предшествующими появлению диагностических признаков развитых повреждений. Основой при реализации данного этапа является внедрение программного обеспечения для организации эффективной стратегии ТОиР.

Список литературы:

1. Правила технической эксплуатации механического оборудования доменных цехов. ВНИИОЧЕРМЕТ. - М.: "Металлургия", 1968.-212 с.
2. Правила технической эксплуатации механического оборудования мартеновских цехов. ВНИИМЕХЧЕРМЕТ. - М.: "Металлургия", 1979. - 202 с.
3. Правила технической эксплуатации механического оборудования блюмингов и непрерывно-заготовочных станов – М.: «Металлургия», 1979. - с. 192.
4. Правила технической эксплуатации механического оборудования агломерационных фабрик. ВНИИМЕХЧЕРМЕТ. - М.: "Металлургия", 1985. - 143 с.
5. Правила технической эксплуатации механического оборудования конвертерных цехов металлургических предприятий. ВНИИМЕХЧЕРМЕТ. - М.: "Металлургия", 1984. - 79 с.
6. Положение о планово-предупредительных ремонтах (ППР) механического оборудования предприятий черной металлургии СССР (2-е издание), утв. 20 апреля 1972 г., ВНИИОчермет, 1973. – 256 с.
7. Временное положение о техническом обслуживании и ремонтах (ТО и Р) механического оборудования предприятий системы министерства черной металлургии СССР. – Тула, 1983. – 390 с.
8. Гребеник В.М., Цапко В.К. Надёжность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надёжности и долговечности). – М.: Металлургия, 1980. – 344 с.
9. Организация технического обслуживания металлургического оборудования / В.Я. Седуш, Г.В. Сопилкин, В.З. Вдовин и др. - К.: Техника, 1986. - 124 с.
10. Гребеник В.М., Гордиенко А.В., Цапко В.К. Повышение надёжности металлургического оборудования: Справочник. – М.: Металлургия. 1988. – 688 с.
11. Ширман, А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьев. – М.: Машиностроение, 1996. – 276 с.
12. Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. - СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000.–169 с.
13. Сушко А.Е. Организация распределенного мониторинга технического состояния роторного оборудования на предприятиях черной металлургии // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2012. №4 С. 30 – 36.
14. Сушко А.Е., Демин М.А. Вибродиагностика в системах технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования металлургических производств // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2005. №1. С. 6- 9.