

УДК 62-83

**В.Ф. БОРИСЕНКО** (канд.техн.наук, доц.), **В.А. СИДОРОВ** (канд.техн.наук, доц.)  
**В.Н. ХОМЕНКО**

Донецкий национальный технический университет  
borissenko.vp@gmail.com

## КОНЦЕПЦИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

The concept of technical state diagnostic of electromechanical system is considered in this article.

**Введение. Связь проблемы с научными и практическими задачами.** Вопросам диагностирования состояния узлов машин, агрегатов посвящено большое количество научных публикаций и работ [1-4]. Основные технические решения направлены на констатацию текущего состояния объекта. Оператору (наблюдателю) предлагается самостоятельно решать вопросы выбора ремонтного воздействия, что является существенным недостатком.

Определение технического состояния электромеханических систем (ЭМС) является сложной задачей. Тесное взаимодействие электрической и механической частей привода не позволяют эффективно использовать традиционные решения. Научный аспект связан с формированием единых принципов диагностирования электрической и механической систем.

**Анализ исследований и публикаций.** Выполненные за последние 15-20 лет исследования и публикации можно условно разделить на несколько больших групп. В первую очередь необходимо отметить теоретические вопросы, касающиеся развития неисправностей, форм их проявления и регистрации, а также возможных путей их устранения [5-7]. Ко второй группе отнесем методы и средства технической диагностики, отмечая, что в основной своей массе они базируются на данных вибрационных измерений [2- 4]. В третью группу следует включить работы по оценке технического состояния систем и выбору ремонтного воздействия [8-10]. Здесь рассматриваются конкретные механизмы, системы и делаются предположения о возможности их дальнейшей эксплуатации.

**Постановка задачи.** Предлагаемая концепция ориентируется на проведение упреждающего ремонтного воздействия, позволяющего предупредить развитие повреждения и управлять техническим состоянием оборудования.

**Изложение материала и результаты.** Современное оборудование, работающее в составе технологических линий должно удовлетворять требованиям надежности, в первую очередь, показателям безотказности. Возникновение повреждения, предвещающее ускоренный износ элементов оборудования должно быть остановлено на самых ранних стадиях. Основой повышения безотказности электромеханического оборудования является информация о техническом состоянии, полученная и представленная на основании предлагаемой концепции.

### **Основные положения концепции.**

1. Электрическая и механическая части электромеханической системы имеют значительное взаимное влияние. Поэтому использование метода суперпозиции для решения задачи оценки технического состояния электромеханической системы не возможно.

2. Необходимо оценить взаимное влияние электрической и механической частей электромеханической системы на основе единого методологического подхода, определяющего факторы работоспособного состояния. Предлагается рассмотреть функционирование оборудования как динамическую систему взаимосвязанных элементов с неопределенными характеристиками внешних воздействий и переменными внутренними связями.

3. Следует определить возможные ремонтные воздействия, приоритетность и необходимость проведения.

4. Для систем постоянного контроля технического состояния необходимо разработать уравнения связи, учитывающих изменение показателей ряда контролируемых величин в условиях жесткого ограничения возможных реализаций.

5. Полученные данные позволят реализовать предлагаемый алгоритм диагностирования электромеханической системы. 6. В настоящее время отсутствуют оперативные методы активного воздействия на техническое состояние (за исключением резервирования), позволяющие предупредить возникновение отказа.

Обычно, на предварительном этапе анализа, сложные электромеханические системы могут быть представлены и рассматриваться с позиций «черного ящика», в котором входные воздействия преобразуются на основании законов внутреннего взаимодействия, и на выходе получают реакции, дающие основание судить о техническом состоянии системы (рис. 1).



Рисунок 1 – Традиционное представление электромеханической системы в виде «черного ящика»

Современная электромеханическая система в своем составе имеет блок автоматического управления (БАУ), который сравнивает текущие выходные реакции с заданными значениями, вырабатывает управляющее воздействие и через систему обратных связей ведет формирование желаемого хода процесса (рис. 2).

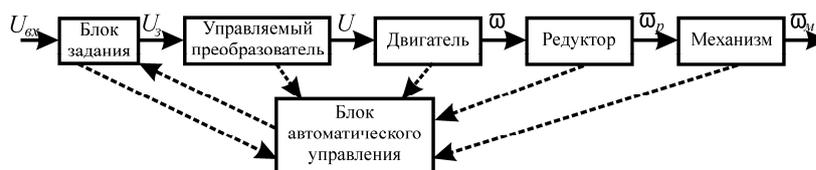


Рисунок 2 – Управление объектом на основании анализа информации о результатах функционирования

С позиций кибернетики управление – это получение, хранение и обработка информации для организации целенаправленных действий. Следовательно, для управления безотказностью оборудования необходимы функции получения и обработки информации о техническом состоянии оборудования. Наличие информации преобразует техническую систему с непредсказуемыми реализациями, в объект управления с обратной связью на основании анализа информации о результатах функционирования.

Предполагая неизменными входные воздействия и состояния звеньев ЭМС, можно говорить об устойчивом режиме работы системы и отсутствии необходимости ремонтных воздействий для поддержания её работоспособного состояния, при условии, что входные воздействия не превышают расчетных значений (находятся в пределах номинальных, для данной ЭМС). То есть исследуемый объект должен функционировать постоянно.

В действительности в процессе функционирования сложной ЭМС имеет место взаимодействие и взаимовлияние электрической и механической частей ЭМС. В результате в механической части появляются зазоры в соединениях, меняются упругие моменты в соединительных элементах конечной жесткости. Внутренние параметры не имеют монотонного изменения, могут возрастать, уменьшаться, изменяться ступенчато. Техническое состояние электромеханической системы, после ремонтного воздействия изменяется. Таким образом, тезис о постоянном ухудшении характеристик отдельного элемента, может быть использован лишь с учетом взаимодействия элементов системы.

Момент нагрузки на приводной двигатель формируется за счет усилия обеспечивающего выполнение технологических функций и за счет усилия необходимого для преодоления внутренних потерь (диссипативных сил). Изменение нагрузки (на валу) или её колебания в процессе работы приводят к колебательному характеру движения упругих элементов системы, к колебательному преобразованию кинетической и потенциальной энергий, к увеличению зазоров в передачах, к накоплению усталостных повреждений в элементах. Приводной двигатель на колебания нагрузки реагирует изменением частоты вращения, электромагнитного момента, степенью нагрева обмоток.

На основании синергетических представлений предлагается рассмотреть поведение электромеханической системы привода мощных машин как сложной системы, имеющей элементы самоорганизующихся структур. Это приводит к ограниченному, а не к бесконечному числу технических состояний, как это принято в классической постановке задач технического диагностирования. Переход из одного состояния в другое электромеханической системой осуществляется ступенчато, с увеличением скорости процессов изнашивания, повышением уровня энтропии, изменением характера протекающих физических процессов. Для исследования диагностических зависимостей необходимо выделить внутренние и внешние факторы, влияющие на безотказность электромеханической системы. Следует рассмотреть функционирование оборудования как динамическую систему взаимосвязанных элементов с неопределенными параметрами внешних воздействий и переменными внутренними связями.

**Внутренние факторы, влияющие на безотказность механического и электрического оборудования, имеют ряд общих позиций:** состояние неподвижных соединений; состояние узлов трения; равномерность распределения сил; взаимное расположение деталей; процессы накопления усталостных повреждений.

Для каждого фактора на основании изменения физических процессов, происходящих при износе оборудования, следует выделить уровни: уровень исправного состояния; уровень малых отклонений; уровень проведения ремонтных воздействий; предотказный уровень.

Известно следующее ограниченное число элементов механической системы, имеющих индивидуальное функциональное предназначение: вал; подшипники; корпусные детали; фундамент; резьбовые соединения; уплотнения; соединительные элементы; исполнительные элементы.

Элементы электрической системы, имеющие индивидуальное функциональное предназначение: токопроводящие элементы; коммутирующие элементы (подвижные и неподвижные); корпусные детали; катушки индуктивности; емкости; активные сопротивления; изолирующие элементы.

Для электрической части ЭМС можно выделить следующие элементы, блоки, имеющие индивидуальное функциональное предназначение: источник питания (статический или электромеханический); приводной электродвигатель (постоянного или переменного тока); блок или система автоматического управления; датчики измеряемых величин (ток, напряжение, скорость, температура).

Таким образом, электрическая и механическая части привода имеют ограниченное число функциональных элементов и ограниченное число внутренних факторов, влияющих на безотказность оборудования, а также ограниченное число уровней изменения состояния. Это позволяет сформировать матрицу возможных состояний для каждой схемы привода и выявить факторы взаимосвязанные и взаимовлияющие.

**Внешние факторы, влияющие на безотказность механического оборудования:** силовой фактор; температурный фактор; воздействие окружающей среды; скоростной фактор.

**Внешние факторы, влияющие на безотказность электрического оборудования:** фактор нагрузки; температурный фактор; воздействие окружающей среды; фактор переходных процессов.

Практический аспект технического диагностирования требует не только постановки диагноза, а и выдачи четких рекомендаций по техническому обслуживанию и ремонтным воздействиям. Необходимо получить критерии для оценки необходимости проведения упреждающих ремонтных воздействий. Основанием для этого могут быть аксиомы работоспособного состояния.

**Работоспособное состояние механической части электромеханической системы** характеризуется следующими признаками: низким уровнем вибрации и шума; минимально возможным уровнем динамических (ударных) процессов; температурой деталей, не превышающей допустимых значений; отсутствием подтекания масла и трещин корпусных деталей.

**Работоспособное состояние электрической части электромеханической системы** характеризуется: выполнением рабочей операции при нагрузках, не приводящих к перегреву двигателя и перегрузке источника питания; реализацией заданной тахограммы движения с ограничением ускорения, рывка и т.д.; параметрами проводимости и изолирующих свойств системы; параметрами электрических величин (тока, напряжения), отсутствием искрения.

**Возможные воздействия на элементы оборудования.** Для механической части электромеханической системы возможны ремонтные воздействия: затяжка резьбовых соединений, регулировка, смазка, замена быстроизнашивающихся деталей и восстановление корпусных деталей. Для электрической части возможны ремонтные воздействия: замена узлов, наладка оборудования, восстановление проводимости системы, восстановление диэлектрических свойств системы. Исходя из данных воздействий, появляется возможность сократить бесконечное множество проявлений неисправных состояний до конечного множества диагностических признаков, необходимых ремонтных воздействий имеющих приоритетность, определяемую конкретным состоянием.

На основании изложенных принципов предлагается алгоритм проведения диагностирования технического состояния ЭМС (см. рис. 3, ниже).

Особое внимание следует обратить на зону взаимодействия, в которой происходит электромеханическое преобразование энергии – электрическая энергия преобразуется в механическую. Текущие электрические мощность, ток, электромагнитный момент преобразуются в механическую мощность на валу (значения момента и частоты вращения).

Если со стороны механизма, исполнительного органа имеет место повышения нагрузки ( $P_{\text{Мех}} > P_{\text{Н}}$ ), то это находит свое отражение в росте токовых значений, развиваемого двигателем момента, температуре нагрева двигателя ( $\tau = \theta_{\text{ДВ}} - \theta_{\text{ОКР}}$ ). Механическая часть реагирует на рост нагрузок увеличением упругого момента в соединительных звеньях, ростом усталостных повреждений, увеличением момента сопротивления и снижением скорости движения исполнительных звеньев.

Зафиксированные перегрузки механические и электрические проходят несколько этапов сравнения и оценки. В первую очередь оценивается уровень перегрузок, а далее сигналы проходят через детерминаторы воздействий и блоки критериев состояния – это даёт возможность принять решение о продолжении работы ЭМС, о продолжении работы с допустимыми перегрузками.

В тех случаях, когда отклонения от допустимых  $\Delta M_{\text{Мех}} > [\Delta M_{\text{Мех}}]$ ,  $\Delta E_{\text{Электр}} > [\Delta E_{\text{Электр}}]$ , выбираются ремонтные воздействия и после их реализации, проверки качества проведенного ремонта и устранения всех повреждений даётся разрешение на продолжение эксплуатации объекта.

Проверка качества ремонтной операции осуществляется в режиме холостого хода, а далее при работе под нагрузкой.

Необходимо разработать оперативные методы активного воздействия на техническое состояние, позволяющие предупредить возникновение отказа. Это значительно повысит безотказность ЭМС.

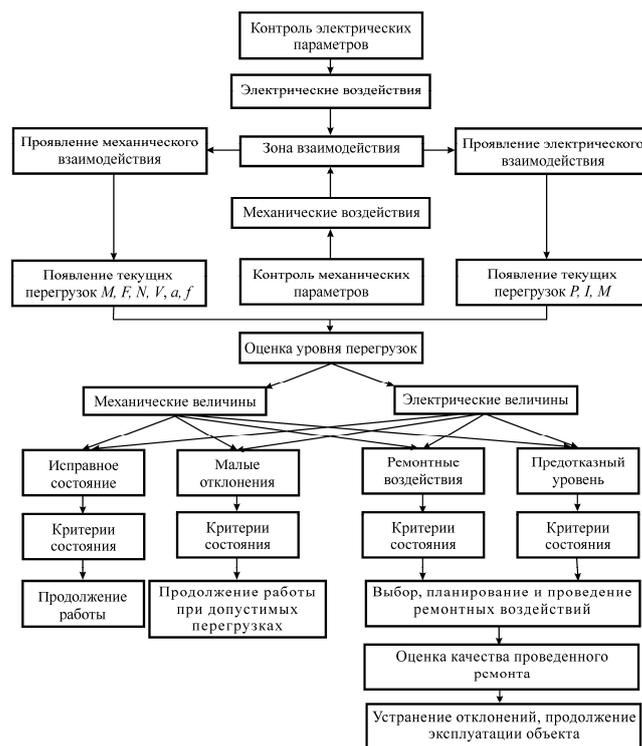


Рисунок 3 - Алгоритм диагностирования технического состояния ЭМС

**Вывод.** Предлагаемый алгоритм оценки технического состояния ЭМС учитывает реальное состояние объекта, определяет необходимое ремонтное воздействие с последующей оценкой качества ремонта, что дает основание установить возможность дальнейшей эксплуатации системы.

#### Список литературы

1. Биргер И. А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240с.
2. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В. Клюев и др.; Под общ. ред. В.В.Клюева. – М.: Машиностроение, 1989. - 671 с.
3. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин: - 2-е изд. исправл. – М.: Машиностроение, 2000. – 344 с.
4. Ширман А. Р., Соловьев А. Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. – М., 1996. – 276 с.
5. Основы технической диагностики: В 2-х книгах / Кн. 1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / Под ред. П.П. Пархоменко. - М.: Энергия, 1976.– 464 с.
6. Пархоменко П. П., Согомоян Е. С. Основы технической диагностики. – М.: Энергия, 1981. – 320 с.
7. Коллакот Р. А. Диагностика повреждений: Пер с англ. – М.: Мир, 1989.–512с.
8. Голуб Е.С., Мадорский Е.З., Розенберг Г.Ш. Диагностирование судовых технических средств: Справочник. - М.: Транспорт, 1993. - 150 с.
9. Ульяницкий В. Н. Техническая диагностика металлургического оборудования. – Алчевск: ДГМИ, 2004. – 186 с.
10. Кравченко В.М., Сидоров В.А., Седуш В.Я. Техническое диагностирование механического оборудования: Учебник. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2009. – 459 с.

Надійшла до редколегії 22.04.2009

Рецензент: О.П.Ковальов

**В.П. БОРИСЕНКО, В.А. СИДОРОВ,  
В.М. ХОМЕНКО**

Донецкий национальный технический университет

**Концепция диагностирования технического состояния электромеханической системы.** Авторами этой статьи предложена концепция диагностирования технического состояния электромеханической системы, базируясь на анализе информации, полученной во время рабочего режима. Также представлены внутренние и внешние факторы, которые влияют на общее техническое состояние электромеханической системы. В конце статьи предложен алгоритм оценки технического состояния на основе наблюдений за механическими и электрическими параметрами. Оцененные уровни перегрузок в узлах системы позволяют указать на возможные причины деградации технического состояния и дать рекомендации оператору и инженеру по дальнейшим действиям.

***Техническое состояние, диагностирование, электромеханическая система, внутренние и внешние факторы.***

**В.П. БОРИСЕНКО, В.А. СИДОРОВ,  
В.М. ХОМЕНКО**

Донецкий национальный технический университет

**Концепція діагностування технічного стану електромеханічної системи.** Авторами цієї статті запропоновано концепцію діагностування технічного стану електромеханічної системи базуючись на аналізі інформації отриманої під час робочого режиму. Також представлені внутрішні та зовнішні фактори, які впливають на загальний технічний стан електромеханічної системи. В кінці статті запропоновано алгоритм оцінки технічного стану на базі спостережень за механічними і електричними параметрами. Оцінені рівні перевантажень у вузлах системи дозволяють вказати на можливі причини деградації технічного стану і дати рекомендації щодо подальших дій оператора або інженера.

***Технічний стан, діагностування, електромеханічна система, внутрішні та зовнішні фактори***