

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Борисенко В.Ф., Сидоров В.А., Мельник А.А.

Донецкий национальный технический университет

In this article the questions of condition the mechanical and electrical parts of system's are considered.

Постановка задачи. Диагностирование состояния машины должно иметь общий подход и базироваться на позициях устойчивой работы электромеханической системы. До настоящего времени вопросы диагностирования, в большинстве случаев, делились на несколько видов: диагностирование питающих преобразователей, диагностирование приводных двигателей, диагностирование промежуточных механических звеньев (редукторов), диагностирование исполнительного органа, диагностирование системы управления. Определение текущего состояния каждого звена, блока, исполнительного органа давало определенную картину, но не учитывало взаимовлияние элементов сложной системы во всем их многообразии.

Анализ последних достижений. Вопросы решения рассматриваемой проблемы изложены в [1,2]. При этом рассматривается только состояние механической части системы.

Задача исследований. Найти и обосновать методы диагностирования электромеханической системы при комплексном учете взаимовлияния элементов.

Изложение основного материала. Современные высокопроизводительные машины, станки, агрегаты, поточные линии и другие в качестве системы привода, как правило, используют электрический привод с обвязкой, в которую входит управляемый преобразователь, система автоматического управления с блоком обратных связей, блоком датчиков и преобразователей, наблюдателями состояния (идентификаторами). Кроме перечисленного, система управления, обычно включает блок индикации текущих величин и параметров, а также имеет возможность воспроизведения сигналов задания и ограничения текущих координат.

Каждая машина, агрегат представляют собой разветвленные цепи элементов, связанные между собой прямыми, обратными и перекрестными связями. Число блоков, узлов может достигать нескольких десятков, а простых элементов – несколько сотен или тысяч. Каждый из элементов обладает своим ресурсом функционирования и безотказностью, однако, в силу тех или иных обстоятельств, срок службы элементов, а с ними и машины, значительно сокращается.

Переход на питание приводных электродвигателей от статических преобразователей потребовал решения вопросов о гармоническом спектре питающего напряжения и о возможности резонирования двигателя на частотах, кратных частоте сети. С другой стороны, возможная несимметрия параметров электродвигателя, магнитная несимметрия, неточная установка вала, дефекты и повреждения подшипников, наличие переменных зазоров, из-за неравномерной выработки зубьев шестерен, приводит к существенным колебаниям и биениям.

Упругие колебания в элементах системы могут служить причиной появления значительных динамических нагрузок и приводят к аварийной ситуации или разрушению узлов машины. Выбор звеньев кинематической цепи и элементов привода на этапе проектирования машины не всегда соответствует оптимальному соотношению собственных частот расчетных масс по минимуму упругих нагрузок в элементах. Так например, для пятимассовой расчетной схемы (рисунок 1).

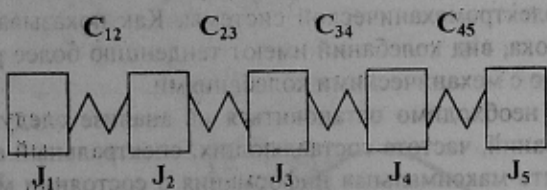


Рисунок 1 – Расчетная схема пятимассовой системы;

$J_1...J_5$ – моменты инерции расчетных масс, $C_{12}...C_{45}$ – жесткости упругих связей.

Соотношение между собственными частотами колебаний Ω_{ij} по минимуму нагрузок в упругих элементах должно быть следующим:

$$\Omega_{23} = 2 \cdot \Omega_{12}; \quad \Omega_{34} = 3 \cdot \Omega_{12}; \quad \Omega_{45} = 4 \cdot \Omega_{12},$$

$$\text{где } \Omega_{12} = \sqrt{\frac{c_{12}(J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}}$$

В реальных машинах эти соотношения не всегда выполняются, что заведомо приводит к перегрузке кон-

кретных узлов или звеньев. Для диагностирования конкретного объекта в первую очередь составляется его логическая модель, в которой каждый логический элемент замещается логическим блоком, имеющим один выход и существенные для данного выхода входы. Логическая модель строится по функциональной схеме. Последняя может перейти в логическую при элементах с одним выходом.

Причинно-следственные связи в объекте отражают графически в виде ориентированного графа, вершины которого представляют сигналы, события или явления, а дуги – причинно-следственные связи между соответствующими вершинами. Направление дуги – перемещение от причины к следствию. Логическая модель также может быть представлена в виде ориентированного графа, в котором вершины будут являться блоками (элементами) логической модели, а также ее входными и выходными сигналами, а дуги реализуют связи между элементами и внешними входными и выходными сигналами.

Перебор исправных и неисправных технических состояний объекта позволяет перейти к составлению таблицы функций неисправностей (объекта), в которой элементарным проверкам соответствуют состояния элементов объекта. При N функциональных (или логических) элементах и двух альтернативном исходе (исправен, неисправен) число возможных состояний – 2^N . Такое число состояний учесть, практически, невозможно. Тогда предполагают, что в объекте диагностирования возможен дефект лишь одного функционального элемента. При таком допущении число возможных неисправных состояний становится равным N .

Применяемые методы диагностирования должны быть простыми и технически доступными для определения границ различения состояний объектов. Рассмотрим подход к диагностированию машины, электромеханической системы на базе результатов моделирования ее поведения при учете таких состояний системы как выработка зубьев, возможность раскрытия зазора и др. При выработке зубьев изменяется передаточное число i . В определении i появляется периодическая составляющая, наличие которой при соответствующих частотах возмущающей силы приводит к развитию параметрического резонанса:

$$i = i_0 \left(1 + \sum_{j=1}^n \Delta i_{mk} \cdot \sin \Omega_k t \right).$$

Наличие переменного передаточного числа сказывается одновременно на приведенных величинах момента инерции и сил сопротивления. При неравномерной выработке валков у клетей прокатных станов возможно ухудшение условий захвата металла, искажение формы заготовки, а для приводных двигателей – разброс в нагрузках и появление колебательной составляющей в токе.

При диагностировании механического оборудования наиболее часто прибегают к использованию следующих методов: анализ шумов механизма, контроль вибрации (общего уровня, параметров и анализ спектра), температурный контроль, визуальный осмотр, анализ качества смазочных материалов, анализ токовых характеристик привода. Диагностирование электрической части привода и системы управления в большей степени предполагают тестовое диагностирование с использованием логических диагностических моделей. В целом диагностирование механической части привода в большей степени использует теорию распознавания, разрабатывая алгоритмы, правила принятия решения. Диагностирование электрической части привода базируется на теории работоспособности, решая задачи оптимальной диагностической информации, минимизации операций по поиску неисправностей и оптимальных решений по контролю состояния. Однако электромеханическая система представляет собой сложное взаимодействие и взаимовлияние электрической и механической частей. Следовательно, первоначальное распознавание работоспособного состояния электромеханической системы как объекта диагностирования должно основываться на едином диагностическом параметре – токовой характеристике привода.

Предлагается использовать временную реализацию и на анализе формы токового сигнала в качестве диагностических критериев общего состояния электромеханической системы. Как показывает опыт работы по диагностированию оборудования, колебания тока, вид колебаний имеют тенденцию более раннего предупреждения о неисправностях в системе по сравнению с механическими колебаниями.

При использовании токовых диаграмм необходимо остановиться на анализе следующих показателей: уровень, размах колебаний тока, период колебаний, частота составляющих, спектральный анализ. При выборе показателя основными критериями должна быть максимальная информация о состоянии механизма. В зубчатых передачах и подшипниках качения, основных элементах современных механизмов, момент сопротивления резко изменяется при недостаточном количестве смазочного материала. В этом случае контроль величины силы тока способен предотвратить аварийное разрушение механизма, но не предупредить о появлении повреждений.

Основная задача технической диагностики – распознавание технических состояний объектов, в условиях ограниченного объема информации [1]. Понятие техническое состояние включает совокупность признаков (параметров), характеризующих изменение свойств объекта в процессе эксплуатации. Теория диагностики предполагает, что объект может иметь множество состояний [2]. Однако практическое использование результатов диагностирования требует ограничения числа классов состояний. Это связано с необходимостью сопоставления распознаваемых классов состояний с рекомендуемыми объемами работ по контролю, техническому обслуживанию, ремонту. Определение допустимых значений диагностических параметров и границ различения технических состояний является основной задачей теории распознавания.

Для определения границ различения технических состояний была высказана гипотеза о соответствии изменения технического состояния характеру физических процессов, протекающих в механизме. Граничные пе-

переходы должны быть связаны с искажениями непрерывности функций диагностической меры расстояния Mv , Mv^2 в виде ступенчатых минимаксных переходов. Это объясняется работой механизма в зоне неустойчивого равновесия вблизи границы технического состояния.

Для определения границы различия технического состояния конкретного механизма может быть проведен анализ конкретных реализаций диагностического параметра. Результаты анализа приведены на рисунке 2, в виде гистограммы зависимости: $N_i = f(v_i)$, где N_i – количество наблюдений в i -м единичном диапазоне; v_i – диапазон измеряемых значений. График зависимости описывается распределением Вейбулла:

$$F(v) = 1 - \exp[-(v/a)^b],$$

с параметрами $a = 9,33$ мм/с; $b = 1,49$. Граница интервала $v_{cp} + 2\sigma = 8,4 + 2 \cdot 5,76 = 19,92$ мм/с, где v_{cp} – среднее значение, σ – среднеквадратичное отклонение; включающее 95% реализаций, может служить предельно допустимым значением виброскорости для данного механизма.

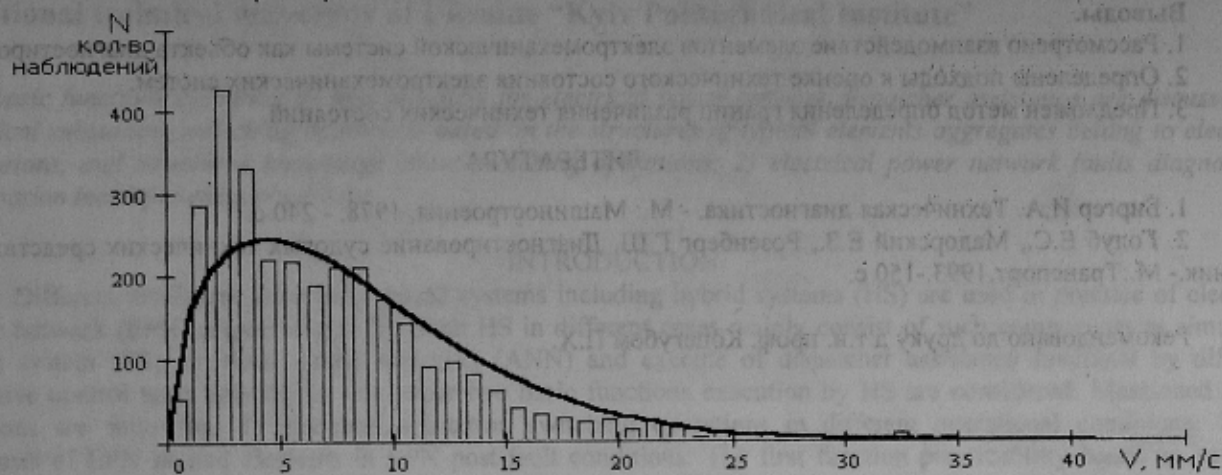
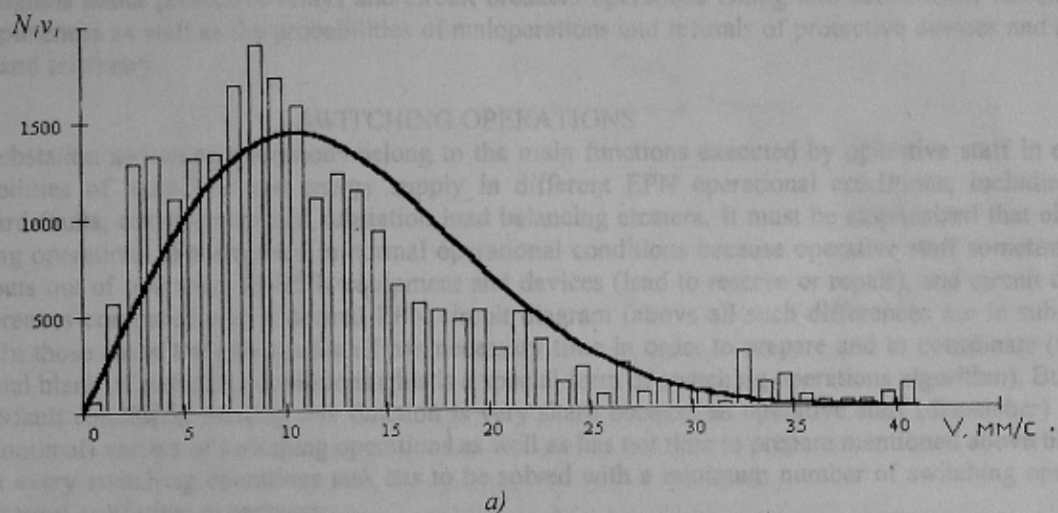
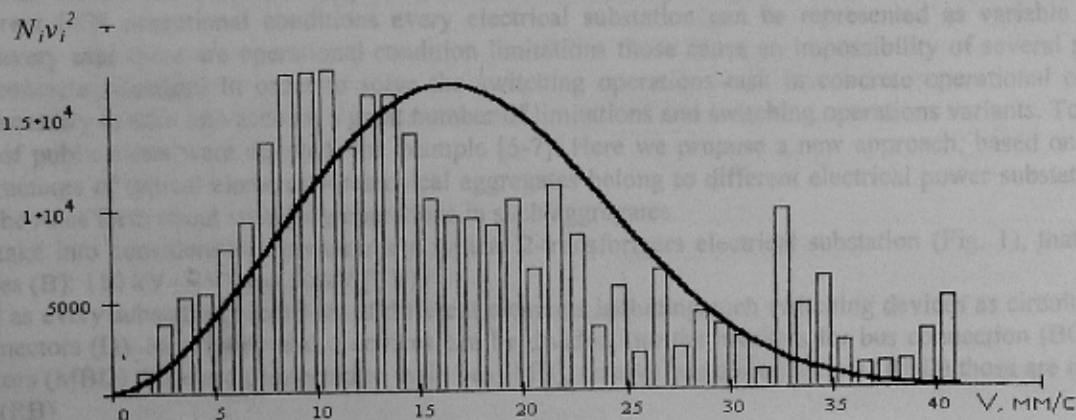


Рисунок 2 - Гистограмма зависимости $N_i = f(v_i)$.

Предположение подтвердилось при анализе гистограмм графиков функций $N_i v_i = f(v_i)$, $N_i v_i^2 = f(v_i)$, (смотри рисунок 3).



а)



б)

Рисунок 3 - Гистограммы функций а) $N_i v_i = f(v_i)$; б) $N_i v_i^2 = f(v_i)$.

Анализ степени отклонения, фактически полученных гистограмм от теоретической функции распределения определил совпадающие на обеих графиках значения граничных состояний: 5,0 мм/с; 12,0 мм/с; 21,0 мм/с; 24,0 мм/с; 26,0 мм/с; 28,0 мм/с; 32,0 мм/с. Для практического использования были приняты следующие границы технических состояний: 0...5,0 мм/с – хорошее; 5,0...12,0 мм/с – удовлетворительное; 12,0...21,0 мм/с – плохое; свыше 21,0 мм/с – аварийное. Более высокие значения границ 24,0 мм/с, 26,0 мм/с, 28,0 мм/с, 32,0 мм/с – определяют различие состояний в аварийном диапазоне работы механизма, показывают большое число возможных технических состояний механизма.

Использование данных границ при различении технических состояний и определении вида ремонтного воздействия позволило своевременно выполнять техническое обслуживание соответствующее выявленному классу технического состояния. Результат выразился в уменьшении объема ремонтных работ и улучшении технического состояния, проявившемся в снижении общего уровня вибрации.

Выводы.

1. Рассмотрено взаимодействие элементов электромеханической системы как объекта диагностирования.
2. Определены подходы к оценке технического состояния электромеханических систем.
3. Предложен метод определения границ различения технических состояний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. - М.: Машиностроения, 1978. - 240 с.
2. Голуб Е.С., Мадорский Е.З., Розенберг Г.Ш. Диагностирование судовых технических средств: Справочник. - М.: Транспорт, 1993. - 150 с.

Рекомендовано до друку д.т.н. проф. Кошегубом П.Х.