

DOI:

ВЫБОР КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Постнова Е.А.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Россия, г. Москва
ул. Профсоюзная д.65
postnova@ipu.ru

Аннотация: рассматриваются вопросы о возможности выбора оптимального критерия для оценки состояния электромеханического объекта в режиме реального времени. Под оптимальностью понимается некоторый характерный параметр, по значению которого можно судить об изменениях, происходящих в системе. Приводится сравнение нескольких параметров, введённых для оценки динамики спектрограмм.

Ключевые слова: оптимальный критерий, спектрограмма, оценка состояния, электромеханический объект.

Введение

Для качественной оценки состояния электромеханического объекта, например, электродвигателя, часто стремятся получить как можно больше различных параметров и зависимостей. Что в свою очередь приводит к увеличению числа датчиков и значительному усложнению всей системы в целом. Поэтому ставится задача о возможной оптимизации (сокращении) количества фиксируемых характеристик и отслеживании значений некоторого выбранного критерия в режиме реального времени.

В литературе можно найти большое количество оцениваемых параметров: вибраций отдельных элементов, акустических колебаний, магнитного потока, температуры отдельных элементов механизма, содержания железа в масле, состояния изоляции и многие другие. Если задача не ставится как оценка общего состояния механизма, а формулируется как оценка времени работоспособности системы и выхода её из строя, тогда следует выбрать наиболее характерный критерий.

Известно, что оценочные значения стандартных характеристик изготовители получают при длительном наблюдении и на основе большого количества статистических данных [1]. К сожалению, не всегда электромеханическая система работает согласно предоставленным производителем характеристикам и часто выходит из строя ранее (или позднее) гарантированного, поскольку не учитывается действие случайных возмущений и наличие ошибок в каналах связи при измерениях в режиме реального времени. Поэтому выбор оценочного критерия становится особенно актуальным, когда прогнозирование выхода из строя элемента системы приводит к значительному сокращению расходов как временных, так и финансовых. При этом существенным оказывается прогнозирование на ранней стадии развития дефектов [2-3].

В данной работе вводились критерии и проводилось их сравнение на основе анализа спектрограмм, предоставленных с экспериментального стенда ИПУ РАН.

1 Оценочные критерии

1.1 Основные определения

Для проведения исследования по выбору оценочного критерия сравнивались спектрограммы вибрации, звука и тока электродвигателя. При анализе временной динамики сигналов было отмечено появление дополнительных спектральных линий, что явилось основанием для введения первого критерия:

$$(1) \quad K = N / N_0,$$

где N – количество спектральных линий с амплитудой $I \in (I_{max}/e^2; I_{max})$ текущего состояния системы, N_0 – количество спектральных линий с амплитудой $I \in (I_{max}/e^2; I_{max})$ некоторого начального состояния системы. Пример обработки спектрограмм приведён на рисунке 1.

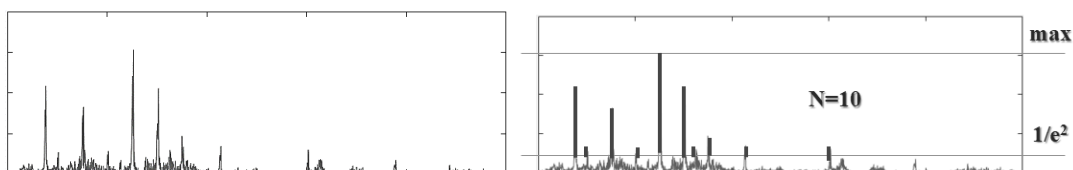


Рис. 1. Пример обработки спектрограмм: слева – спектрограмма, справа – вычисление N

Ожидалось, что, если K больше единицы, то можно судить о появлении динамических изменений в электромеханической системе.

Появляющиеся дополнительные спектральные линии свидетельствуют и об увеличении всей энергии системы, поэтому в качестве следующего оценочного критерия была выбрана энергетическая характеристика всего спектра и второй критерий определялся следующим образом:

$$(2) \quad S = \sum I_i,$$

где I_i – амплитуды спектральных линий. Ожидалось, что экспоненциальный рост S также выявит наличие изменений состояния системы, но поскольку состояние системы зависит и от внешних факторов (температуры, загрязненности воздуха, влажности и других), то для выявления динамических характеристик самого устройства, был введен третий критерий V , оценивающий скорость изменения энергии спектра:

$$(3) \quad V = dS/dt.$$

Критерий V вводился исходя из следующих соображений. Состояние электромеханической системы, перед выходом её из строя, изменяется достаточно резко, поэтому и модуль скорости V должен резко возрастать.

Введённые оценочные критерии (1) – (3) рассчитывались по шестидесяти спектрам вибрации, звука и тока, полученных с рабочего электродвигателя. Каждый из спектров являлся «снимком» некоторого состояния системы (двигателя), полученного с интервалом в 24 часа.

Известно, что для проведения оценок в режиме реального времени требуется некоторое время для передачи и обработки сигнала. Поэтому для полученных временных зависимостей $K(n_i)$, $S(n_i)$, $V(n_i)$, где n_i – номер записи, к линии тренда добавлялось ещё и прогнозирование.

1.2 Обработка данных и выбор оптимального критерия

В рамках поставленной задачи по выбору оптимального критерия, т.е. некоторого характерного параметра, по значению которого можно судить об изменениях, происходящих в системе, проводилась оценка величины изменения выбранных критериев (1) – (3).

Для каждого типа спектра: вибрации, звука и тока рассчитывались значения K , S , V , и строились соответствующие временные зависимости. На полученные зависимости накладывалась экспоненциальная линия тренда с прогнозированием вперёд на 20 периодов. Если изменения достигали более 20% от первоначального уровня, то они считались значимыми.

При обработке спектров возникли сложности с тем, что наблюдалось некоторое «смещение» основных частот. Данную проблему можно решить, используя синхронизацию спектров по основной частоте.

Обработка данных осуществлялась с использованием пакета прикладных программ MatLab.

2 Полученные результаты

Анализ полученных зависимостей K , S , V от номера записи (времени) показал, что для данной электромеханической системы существенными являются изменения вибрационных характеристик системы. Поскольку все три параметра (1) – (3) заметно проявляли свои изменения на спектрах вибрации, то далее был выбран параметр по максимальному значению временных изменений. И таким параметром оказалась энергетическая характеристика S . Полученная спектрограмма $S(n_i)$ и линия тренда представлены на рисунке 2.

Некоторый разброс энергетических характеристик скорее всего свидетельствует о присутствии либо посторонних шумов, либо наличии случайных возмущений в измерительной аппаратуре. Погодные условия (температура, влажность, загрязненность и др.) менялись не существенно, т.к. электромеханическая система при измерениях находилась в чистом закрытом помещении на неподвижном стенде.

Линия тренда с прогнозированием на 20 периодов (рис. 2) показывает, что наиболее вероятно через двадцать дней данная электромеханическая система выйдет из строя.

После получения подобной зависимости (рис. 2) в широком спектре частот были построены зависимости параметра $S(n_i)$ для различных спектральных интервалов (рис. 3). Из теории по вибродиагностике [2-5] известно, что определённый вид дефекта появляется в соответствующем диапазоне частот. Например, механический дефект будет кратен частоте вращения ротора.

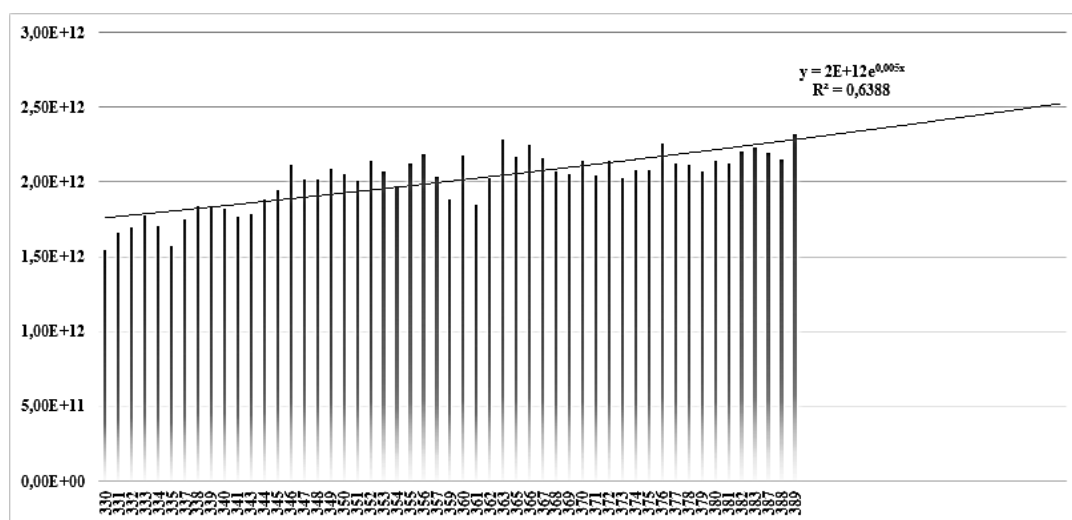


Рис. 2. Зависимость параметра S от номера спектрограммы (времени) и линия тренда с прогнозированием на 20 периодов

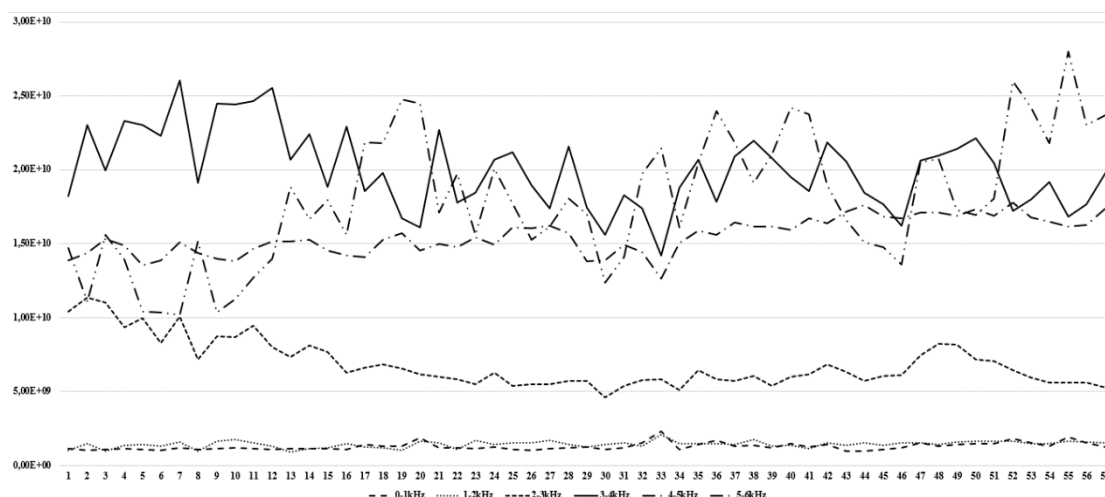


Рис. 3. Зависимость параметра S от номера спектрограммы (времени) для различных частотных интервалов

Оказалось, что поведение выбранного оптимального критерия может служить и некоторым оценочным параметром причины, влияющий на развитие дефектов электромеханического объекта.

В заключении можно сделать следующие основные выводы и рекомендации.

Наиболее чувствительным к состоянию электромеханической системы оказался критерий по оценке энергетического параметра системы S . Поэтому можно рекомендовать использование данного параметра, как наиболее оптимального с точки зрения динамики систем.

Анализ параметра S в выделенных частотных диапазонах позволяет дополнительно провести предварительную оценку по возможной причине возникновения дефектов.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 7919-1-99 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибраций на вращающихся валах. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.
2. Гаврилин А.Н. Диагностика технологических проблем: учебное пособие. Часть 2. – Томск: Изд-во ТПУ. 2014. – 128 С.
3. Колобов А.Б. Вибродиагностика: теория и практика: учебное пособие. М: Инфра-Инженерия. 2019. – 252 С.
4. Петрухин В.В., Петрухин В.С. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учебное пособие. М: Инфра-Инженерия. 2010. – 176 С.
5. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. М.: Наука. 1996. – 276 С.