

УДК 620.179.1.082.7:658.58
МЕТОД И СРЕДСТВО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКА С
ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

М.В. МАЙОРОВ, В.В. МИШИН
ГОУ ВПО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Орел, Россия

В последнее время бурно развивается новая прикладная область математики, специализирующаяся на искусственных нейронных сетях (НС). Актуальность исследований в этом направлении подтверждается массой различных применений НС. Потенциальными приложениями являются те, где человеческий интеллект малоэффективен, а обычные вычисления трудоемки или неадекватны. Этот класс задач и приложений соизмерим по масштабам с классом задач обслуживаемых обычными вычислениями. Соответственно можно предполагать, что искусственные нейронные сети займут свое место наряду с обычными вычислениями в качестве дополнения такого же объема и важности [1] и в качестве инструмента и устройства предварительного принятия решений станут неотъемлемой частью средств диагностирования технических объектов. Это предположение также обосновано тем, что основными преимуществами нейронных сетей являются способность обучаться на множестве примеров в тех случаях, когда неизвестны закономерности развития ситуации и какие бы ни были зависимости между входными и выходными данными. В таких случаях, как традиционные математические методы, так и экспертные системы становятся малоэффективными. Нейронные сети способны успешно решать задачи, опираясь на неполную, искаженную, зашумленную и внутренне противоречивую входную информацию. В свою очередь применение прикладных статистических пакетов требует высокой квалификации в области статистики в отличие от требований к эксплуатации обученной нейронной сети.

Подшипники качения часто определяют эксплуатационные показатели изделий, в частности их надёжность, а в ряде случаев являются причиной аварийных отказов с риском для жизни обслуживающего персонала, с большими экономическими потерями. Поэтому на различных этапах жизненного цикла изделий является актуальной задача контроля и прогнозирования технического состояния опор качения.

Единая диагностическая модель подшипника в настоящее время отсутствует. Во множестве научных школ, занимающихся разработкой теорий и методов диагностирования подшипников качения и подшипниковых узлов, используются различные подходы к описанию процессов в подшипнике и множество различных по физической природе диагностических параметров (например, вибропараметры, собственные электрические и аку-

стические шумы подшипника, электрическое сопротивление смазочного слоя и т.д.). Каждый из имеющихся методов диагностирования обоснован матмоделями объекта и средства диагностирования, однако эти модели для различных методов практически не сопоставимы. Указанные обстоятельства значительно усложняют процесс идентификации и распознавания результатов диагностирования. С целью усовершенствования и облегчения процесса диагностирования в настоящей работе в качестве гипотезы предлагается использовать в основе решающих модулей средств диагностирования подшипников качения специальным образом спроектированную и обученную нейронную сеть. Такой подход позволяет исключить процесс глубокого моделирования процессов в подшипнике за счет априорного опытного обучения НС в результате экспериментальных исследований и теоретического моделирования на основе известных математических моделей процессов в зонах трения работающего подшипника.

Известно несколько алгоритмов диагностирования с применением НС. В работах [1-4] рассматривается случай с обнаружением сбоя в работе двигателей постоянного тока. Проведённые эксперименты показали низкие возможности некоторых способов в принятии решения на основе операции диагностирования, что способствовало разработке альтернативной формы системы обнаружения сбоя в работе технической системы.

В [2] представлена модель, изображенная на рис. 1, для выявления отклонений в работе объекта диагностирования (ОД). Обнаружение аномальных явлений в работе сосредотачивается вокруг модели данных, которая составляется из информации, полученной при нормальном функционировании исследуемой системы. Когда модель данных получена, каждый фрейм информации, вновь поступившей с ОД, будет сравниваться с её фреймами и определяться различия между ними. Далее сигнал с устройства сравнения будет подаваться на устройство принятия решений, где с помощью различных статистических методов будет дополнительно обрабатываться факт наличия отклонения. Модель данных также дополняется априорной информацией, для задания начальных данных и масштабов входных фреймов информации.



Рис. 1. Модель для выявления отклонений в работе объекта диагностирования

Наиболее удачные эксперименты диагностирования были проведены на системах, основанием которых являлись автоассоциативные нейронные сети. Использовались трехслойные прямонаправленные структуры с обучением по алгоритму обратного распространения.

Основываясь на предложенной выше модели синтезирована представленная на рис. 2 структурная схема средства диагностирования, объектом которой являются подшипники качения, работающие в ответственных приложениях. В качестве физического принципа диагностирования предложен электрический принцип (рис. 3), основанный на пропускании через подшипник микротока и по результатам флуктуации падения напряжения на смазочной пленке в зонах трения подшипника оценке сопротивления подшипника (или его проводимости). Наличие кратковременных микроконтактов (импульсов проводимости) в зонах трения деталей подшипника характеризует моменты разрушения смазочной пленки в зонах трения и, следовательно, моменты повышенного износа деталей подшипника. Процесс разрушения смазочной пленки регистрируется первичным преобразователем (преобразователь сопротивление-напряжение [5]).

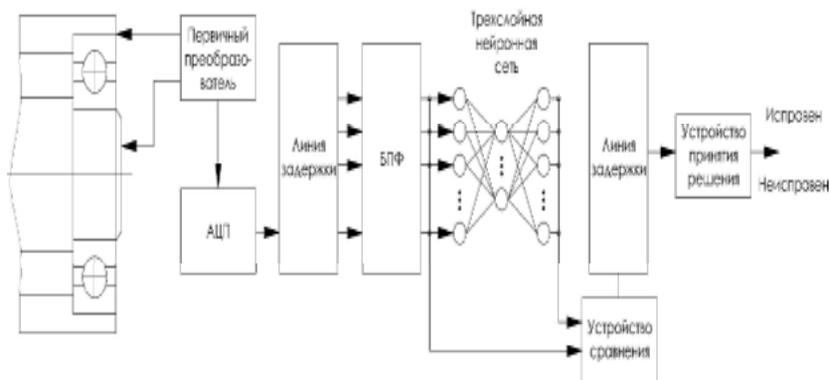


Рис. 2. Структурная схема системы диагностики подшипников на базе НС

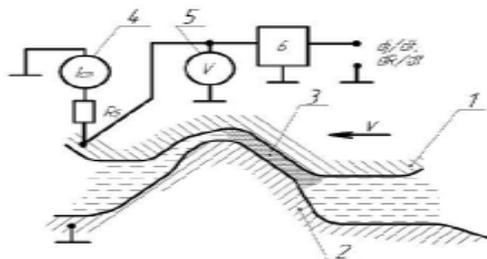


Рис. 3. Иллюстрация физического принципа диагностирования: 1,2 – поверхности деталей подшипника в зоне трения; 3 – смазочный слой; 4 – источник микротока; 5 – регистратор флуктуации (сопротивления) проводимости; 6 – формирователь диагностического параметра

Незначительные модификации схемотехники первичного преобразователя позволяют измерять несколько электрических диагностических параметров, например:

- вероятность микроконтактирования в подшипнике (диагностический параметр НИВ) [5];

- скорость $VNIT$ изменения вероятности микроконтактирования во времени $VNIT = \frac{dP_k}{dt}$, где P_k - временная функция вероятности микроконтактирования [2];

- «ускорение» изменения функции вероятности микроконтактирования во времени $ANIT = \frac{d^2P_k}{dt^2}$;

- отношение $VNITR$ к угловой или линейной скорости вращения вала $VNITR = \frac{VNIT}{\omega}$, где ω – угловая скорость вращения вала контролируемого узла (внутреннего кольца подшипника);

- отношение $ANIT$ к угловому (линейному) ускорению вращения вала (кольца) контролируемого узла $ANITR = \frac{ANIT}{d\omega/dt} = \frac{ANIT}{\varepsilon}$;

- нормированные (относительные) скорость и ускорение изменения временной функции вероятности микроконтактирования, соответственно:

$$VNIT_{норм} = \frac{dP_k}{dt} / P_k, \quad ANIT_{норм} = \frac{d^2P_k}{dt^2} / P_k;$$

- скорость VR изменения сопротивления $R(t)$ подшипника во времени $VR = \frac{dR(t)}{dt}$;

- «ускорение» изменения сопротивления подшипника во времени $AR = \frac{d^2R(t)}{dt^2}$;

- отношение VRR к угловой или линейной скорости вращения вала $VRR = \frac{VR}{\omega}$;

- отношение ARR к угловому (линейному) ускорению вращения вала (кольца) контролируемого узла $ARR = \frac{AR}{d\omega/dt} = \frac{AR}{\varepsilon}$;

- нормированные (относительные) скорость и ускорение изменения временной функции сопротивления, соответственно: $VR_{норм} = \frac{dR}{dt} / R$,

$$AR_{норм} = \frac{d^2R}{dt^2} / R.$$

Аналогично формируется подгруппа параметров на основе временной функции электрической проводимости зоны трения: $VJ = \frac{dJ(t)}{dt}$, где $J(t)$ - временная функция электрической проводимости.

Остальные производные параметры определяются аналогично представленным выше:

$$AJ = \frac{d^2J(t)}{dt^2}, \quad VJR = \frac{VJ}{\omega}, \quad AJR = \frac{AJ}{\frac{d\omega}{dt}} = \frac{AJ}{\varepsilon}, \quad VJ_{\text{норм}} = \frac{dJ(t)}{dt} / J(t),$$

$$AJ_{\text{норм}} = \frac{d^2J(t)}{dt^2} / J(t).$$

Выбирая отдельные из рассмотренных параметров, или комбинируя их, можно получить различную диагностическую информацию и в ходе экспериментальных исследований обеспечить обучение НС в составе средства диагностирования. Выходом первичного преобразователя является электрический сигнал, представленный в виде временной функции, параметры которой определяются вышеуказанными параметрами и реальными процессами в зоне трения подшипника.

С помощью линии задержки и БПФ сигнал преобразуется во входной вектор для подачи на ассоциативную трехслойную, заранее обученную по определённым алгоритмам, нейроструктуру. Введение в алгоритм диагностирования разложения сигнала в спектр (БПФ) позволяет анализировать частотные изменения процессов в зоне трения, что является более информативным с точки зрения получения диагностической информации [6]. Адаптация и синхронизация параметров процесса разложения временной функции в спектр с кинематикой подшипника значительно повысит достоверность результатов диагностирования. Устройство сравнения выставит флаг ошибки в случае, если некоторое количество фреймов БПФ преобразования временной функции диагностических параметров по значению будет не совпадать со значением в «натренированной» ассоциативной структуре. Рассмотренный подход к принятию решения не является единственным и определяется в процессе проектирования средства диагностирования и предварительного моделирования.

Для уменьшения стоимости данной системы целесообразно выполнить её на основе персонального компьютера с платой сбора данных и программным обеспечением для моделирования нейронных структур, что позволит отказаться от использования дорогостоящих схемотехнических образцов нейронных сетей.

Рассмотрен вопрос возможности построения средства диагностирования подшипников качения с применением нейросетевых систем выявления дефектов. В дальнейшем предполагается проведение экспериментальных исследований, создание опытного образца средства диагностирования, разработка методики обучения НС, испытания опытного образца средства

диагностирования. Как направление дальнейших исследований возможно объединение рассмотренных диагностических параметров с параметрами другой физической природы (например, с вибродиагностическими) в едином средстве диагностирования, основанном на нейросетевых технологиях. Такой подход предположительно увеличит достоверность принятия решения и диагностирования в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Thomas Petsche**, Angelo Marcantonio, Christian Darken, Stephen J. Hanson, Gary M. Kuhn and Iwan Santoso/ A Neural Network Autoassociator for Induction Motor Failure Prediction - Siemens Corporate Research, Inc. 755 College Road East
2. **Шестаков, М. П.** Моделирование процесса технической подготовки с использованием нейронной сети / М. П. Шестаков // Юбилейный сборник трудов ученых РГАФК, посвященный 80-летию академии. – М. : 1997. – Т. 1. – С. 116–120.
3. **Rumelhart D.E.**, Hinton G.E., Williams R.J. Learning representations by back-propagating errors//Nature. – 1986. – Vol.323. – P.533–536.
4. **John K. Kruschke** - Toward a Unified Model of Attention in Associative Learning// Journal of Mathematical Psychology 45, 812-863 (2001).
5. **Подмастерьев, К. В.** Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения / К. В. Подмастерьев. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 376 с.
6. **Markos Markou** and Sameer Singh - Novelty Detection: A Review Part 2: Neural network based approaches // Detection and Adaptive Systems monitoring. Denver - CO, USA, 1994.
7. **Мишин, В. В.** Метод и средства диагностирования подшипниковых узлов с учетом макрогеометрии дорожек качения: Дисс... канд. техн. наук – Орел, 2000. – 265 с.

E-mail: stigmoto@gmail.com
vlad89290@gmail.com