

УДК 62-192:004.896

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Н. М. ВЕСЕЛОВА, Д. В. ЗЕЛЯКОВСКИЙ

Волгоградский государственный аграрный университет
Волгоград, Россия

UDC 62-192:004.896

INTELLIGENT METHODS OF DIAGNOSTICS OF POWER EQUIPMENT

N. M. VESELOVA, D. V. ZELYAKOVSKY

Аннотация. Рассмотрены существующие интеллектуальные системы диагностики электрооборудования. Выявлены основные недостатки данных систем. Определены побуждающие мотивы и векторы развития систем диагностики сложных технических объектов.

Ключевые слова: диагностика электрооборудования, интеллектуальные системы, нейронные сети, функциональное состояние оборудования, динамические модели.

Abstract. The existing intelligent systems for diagnostics of electrical equipment are considered. Are identified the main disadvantages of these systems. Motivating and vectors of development of diagnostics systems for complex technical objects are determined.

Key words: diagnostics of electrical equipment, intelligent systems, neural networks, functional state of equipment, dynamic models.

Многие электросетевые компании несут убытки во время незапланированных простоев из-за плохой или неправильной организации диагностики электрооборудования. Современная диагностика состояния оборудования, как правило, основывается на мониторинге данных о параметрах работы оборудования, аварийных случаях, аномалиях в отношении заданных диапазонов управления оборудованием. Предиктивная диагностика позволяет распознавать внезапные всплески параметров работы оборудования и их необычное сочетание, что в свою очередь дает возможность эффективно запланировать профилактическое обслуживание. Такие действия требуют точных и непрерывных потоков входных данных из самых разнообразных датчиков.

Вопросы диагностики электрооборудования могут решить интеллектуальные системы. При разработке данных систем производители руководствуются следующими принципами [1]:

- принцип предоставления требуемого количества и качества информации для наблюдаемости состояния оборудования;
- принцип достаточности числа датчиков;
- принцип информационной полноты вторичных признаков состояния оборудования;

- принцип инвариантности (селекции первоочередных диагностических признаков отказа оборудования);
- принцип самодиагностики измерительных и управляющих каналов;
- принцип структурной гибкости и программируемости;
- принцип коррекции недельных измерительных систем;
- принцип дружелюбности интерфейса;
- принцип многоуровневости.

На отечественном рынке сегодня уже существуют интеллектуальные системы диагностики, позволяющие проводить контроль, анализ технического состояния оборудования и выработать решения о необходимости обслуживания или ремонта оборудования. К ним относятся: «Диагностика+» ИГУ, «СМТО» ООО «АСУ-ВЭИ», «ЭДИС Альбатрос» УрФУ, «НЕВА-АСКДТ» НПФ «ЭНЕРГОСОЮЗ», «ЭСКИСО» МЭИ (г. Смоленск), «ВЕЛЕС» ООО «Мониторинг и автоматика», «ЭСМДУ-ТРАНС» ПАО «ЗТР», «СУПА» Холдинг «Россети». Все эти системы отличаются областью и методами решаемых задач, а также организацией и базой данных. Перед пользователями в связи с этим стоит сложность в выборе и предпочтении той или иной системы. К тому же они имеют, как показала практика, недостаточно мощные базы данных.

С учетом вышесказанного предлагается остановиться на новых методах и алгоритмах, основанных на анализе больших массивов данных и выработке решений, то есть созданных на базе искусственных нейронных сетей [2]. В основе построения этих сетей используются аналитические модели отдельных агрегатов, отдельных узлов и отдельного оборудования. Согласно аналитической модели, связь между выходными параметрами оборудования, находящегося в исправном состоянии, его структурными параметрами и внешними воздействиями описывается выражением векторной функции, которая представляет собой систему передаточных функций [3]:

$$\dot{V} = \varphi(\dot{X}; \dot{Y}_{\text{нач}}; t), \quad (1)$$

где \dot{V} – вектор выходных параметров оборудования; \dot{X} – вектор управляющих воздействий; $\dot{Y}_{\text{нач}}$ – вектор начальных значений структурных параметров оборудования; t – время нахождения оборудования в исправном состоянии.

По аналогии можно записать выражение системы передаточных функций для оборудования, находящегося в неисправном состоянии q :

$$\dot{V}_q = \varphi_q(\dot{X}; \dot{Y}_{\text{нач } q}; t_q). \quad (2)$$

Фактическая передаточная функция оборудования по j параметру имеет вид:

$$\dot{Y}_j = \varphi(\dot{X}_j; \dot{Y}_{\text{нач}j}; t). \quad (3)$$

В системах технической диагностики элементы принятия решения на основе данных передаточной функции классифицируют состояние диагностируемого объекта как исправное либо неисправное. В случае обнаружения неисправности такие элементы проводят идентификацию неисправного элемента и определяют причину отказа.

Так, например, существуют системы, определяющие функциональное состояние оборудования при помощи структурных параметров [4]. В состав этих систем входит следующее: группа блоков памяти; дифференцирующий элемент; группа блоков элементов И; группа блоков сравнения. В свою очередь третья группа складывается из элементов регистров памяти, сумматоров, блоков элементов И, блоков элементов ИЛИ, компаратора и инвертора, элемента ИЛИ.

На входы компаратора второй и третьей групп поступают значения нижней и верхней границ допустимых структурных параметров. Далее в компараторе проходит сравнение:

$$Y_j^{\max} > Y_j > Y_j^{\min}, \quad (4)$$

где Y_j^{\max} и Y_j^{\min} – соответственно верхняя и нижняя границы диапазона значений j -го параметра.

При невыполнении условия (4) подключается второй выход компаратора, выходящий сигнал которого имеет расширенные области по определению функционального состояния:

$$3\delta \cdot Y_j^{\max} > Y_j > 3\delta \cdot Y_j^{\min}. \quad (5)$$

Достоверность принятия решения определяется через вероятность ошибки контроля:

$$\Delta = 1 - P_{\text{ош}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{ош}}$ – вероятность ошибки, $P_{\text{ош}} = \alpha + \beta$; α – ошибка первого рода, вероятность ошибочного признания объекта контроля неисправным; β – ошибка второго рода, вероятность ошибочного признания объекта контроля исправным.

Данный метод определения функционального состояния оборудования имеет недостаток, заключающийся в том, что здесь предполагается

распределение параметров X_j по нормальному закону. А это значит, что примерно 99 % значений параметров попадет в доверительный интервал (5), в то время как при отказах объектов законы статического распределения могут меняться, также могут меняться и сами значения параметров.

Отказ элемента в сложной технической системе влияет на ее работоспособность по-разному, и здесь уже недостаточно прибегать только к определению допускового состояния элемента для диагностики всей системы.

Например, фирма «Сименс» разработала способ анализа работы сложной технической системы (многоступенчатого компрессора газовой турбины), в которой несколько нейронных сетей обучаются, основываясь на нормальном режиме работы турбины [5]. Здесь входными параметрами являлись не только статические величины параметров с датчиков измерения, но и динамические параметры. Причем динамический сигнал давления подвергался частотному анализу, посредством чего определялся один или более параметров частотного спектра сигнала давления. Базируясь на статических, динамических данных измерений и частотном спектре сигнала, обучается нейронная сеть, выходной величиной которой является, по меньшей мере, один показатель диагностики, который представляет меру вероятности нормального режима работы технической системы в зависимости от входных величин.

Недостатком этого способа является то, что в нем нет возможности дополнительного обучения, самоорганизации и реконфигурирования нейронной сети в процессе работы технической системы, так как результат диагностики оборудования и его достоверность зависят от обучающей выборки.

Более совершенной, по сравнению с предыдущими, является система, содержащая один или более динамический модуль. Наличие динамического модуля при контроле работы сложного технического объекта выявляет в рабочих параметрах или рабочих и структурных параметрах системы зависимости между рабочими параметрами или рабочими и структурными параметрами посредством методов искусственного интеллекта и интегрирует идентифицированные при этом зависимости в динамическую модель в качестве новых зависимостей и тем самым улучшает ее в отношении повышения точности прогнозирования поведения системы [6]. Динамическая модель включает в себя механизм управления, нейронную сеть, логику, генетический алгоритм, графическую характеристику.

Расширение (улучшение) динамической модели посредством добавления новых входных и выходных параметров требует наращивания нейронной сети. При недостаточном размере нейронной сети могут возникнуть затынутое во времени обучение и появление сбоев.

Задачу по использованию «совершенной» нейронной сети для диагностики оборудования в динамической модели можно решить путем

автоматического выбора значимых параметров из всего множества входных и выходных параметров [7]. Тем самым оптимизируется число задействованных нейронов в сети и сокращается время на переобучение искусственного интеллекта.

Для создания такой системы диагностики сложного технического объекта в рабочей зоне на нем размещаются датчики. Далее производятся измерения и преобразования в сигналы. Сигналы определяют рабочие и структурные параметры работы объекта. По этим сигналам в форме векторов входов и выходов формируются сигналы для первоначального обучения нейронной сети. Обученная нейронная сеть подключается к входам и выходам модуля, содержащего динамическую модель. В процессе работы динамическая модель улучшается при поступлении новых сигналов от датчиков и при дополнительном обучении нейронной сети. В процессе дополнительного обучения путем сравнения выбирают избыточные нейроны, которые не могут повлиять на результат диагностики, и деактивируют их. При последующем дополнительном обучении нейронной сети или при отказе нейронов избыточные нейроны активируют.

Критерием выбора избыточных нейронов является значение суммарной вероятности ошибок первого и второго рода, то есть значение суммы масштабирующих коэффициентов для входных и выходных сигналов нейрона обученной нейронной сети.

Схема диагностики сложного технического объекта на основе самообучающейся нейронной сети показана на рис. 1.

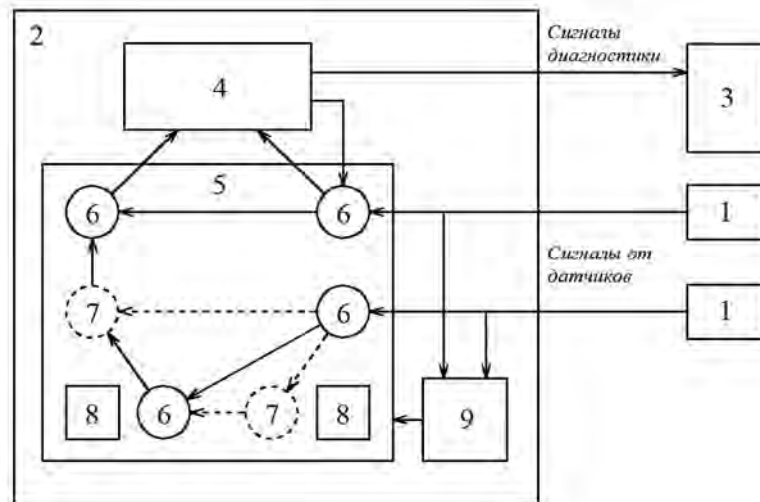


Рис. 1. Схема диагностики сложного технического объекта на основе самообучающейся нейронной сети: 1 – датчики; 2 – вычислительная система; 3 – устройство отображения сигналов диагностики; 4 – модуль интеллектуального анализа; 5 – модуль интеллектуального анализа; 6 – обученная нейронная сеть – активные нейроны; 7 – дополнительное обучение нейронной сети; 8 – избыточные нейроны; 9 – модуль дополнительного обучения нейронной сети и выбора активных и избыточных нейронов

Недостатком такой системы может стать непредвиденный сбой нейронной сети и потеря избыточных нейронов без восстановления.

Следует отметить, что на практике искусственный интеллект используется только для диагностики сложного дорогостоящего оборудования, так как использовать нейронные сети для простых механизмов экономически нецелесообразно. Кроме этого, рассмотренные методы диагностики сводятся к определению функциональности оборудования на определенном этапе времени, без прогнозирования. Поэтому при диагностике оборудования с использованием искусственных нейронных сетей необходимо дополнительно ставить задачи по осуществлению мониторинга следующих показателей:

- оценка функции надежности оборудования во времени;
- оценка функции риска отказа оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническая диагностика. Оценка состояния и прогнозирование остаточного ресурса технически сложных объектов: учебное пособие / А. Г. Дмитриенко [и др.]; под ред. Д. И. Нефедьева, Б. В. Цыпина. – Пенза: ПГУ, 2013. – 62 с.

2. Интеллектуальные технологии диагностики оборудования промышленных предприятий / В. В. Кузьмин [и др.] // Надежность и качество: тр. Междунар. симпозиума, 25–31 мая 2015 г. – Пенза, 2015. – Т. 2. – С. 28–29.

3. **Науменко, А. П.** Теория и методы мониторинга и диагностики: материалы лекций / А. П. Науменко. – Омск: ОмГТУ, 2018. – 135 с.

4. Устройство для допускового контроля функциональных состояний технических систем: пат. RU 2222823 / А. И. Полоус, А. Г. Волков, А. С. Бурый. – Оpubл. 27.01.2004.

5. Способ анализа функционирования газовой турбины: пат. RU 2480806 / Пфайфер Уве (DE), Штерцинг Фолькмар (DE). – Оpubл. 27.04.2013.

6. Устройство и способ для контроля технической установки, содержащей множество систем, в частности установки электростанции: пат. RU 2313815 / Фик Вольфганг (DE), Аппель Мирко (DE), Герк Уве (DE). – Оpubл. 27.12.2007.

7. Способ и устройство технической диагностики сложного технологического оборудования на основе нейронных сетей: пат. RU 2563161 / Ю. М. Соломенцев, С. А. Шептунов, И. С. Кабак, Н. В. Суханова. – Оpubл. 20.09.2015.