

УДК 519.711.2

СКАЛОЗУБ В.В., д.т.н., професор,
ОСОВИК В.Н., главный инженер Юго-Западной ж.д., аспирант (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна)

Индивидуальные интеллектуальные модели для эксплуатации однородных железнодорожных технических систем на основе параметров текущего состояния

Разработаны интеллектуальные модели для управления процессами мониторинга и эксплуатации однородных железнодорожных технических систем на основе параметров текущего состояния. С помощью индивидуальных моделей процессов эксплуатации электродвигателей решаются задачи мониторинга, диагностирования, прогнозирования и определения очередности их ремонтов.

Ключевые слова: парк однородных технических систем, стрелочные переводы, электродвигатели, текущее техническое состояние, процессы эксплуатации, интеллектуальные методы, индивидуальные математические модели процессов, нечеткое математическое программирование, нейронные сети.

Совершенствование процессов эксплуатации парков сложных технических систем (ТС) железнодорожного транспорта (вагонов, локомотивов, стрелочных переводов, электродвигателей и др.) или составляющих их компонентов, с учетом параметров текущего состояния, является актуальной научно-технической проблемой. Она является чрезвычайно важной для железнодорожных дорог, насчитывающих десятки тысяч единиц такого рода эксплуатируемых систем. В качестве объектов анализа рассмотрены электродвигатели (ЭД), используемые в железнодорожных стрелочных переводах – высоко ответственных системах управления процессами перевозок. В настоящее время только на Юго-Западной железной дороге Украины их эксплуатируется более 6800. Представлены результаты исследований по созданию интеллектуальной автоматизированной системы, обеспечивающей управление процессами эксплуатации парков ЭД на основе получения оценок параметров их текущего состояния, без исключения устройств из производственных технологических процессов.

Рассматривается определенное множество сложных технико-технологических объектов одинакового назначения, парк технических систем, а также процессы их эксплуатации. Техническое состояние объекта на данном этапе эксплуатации определяется по сигналам, снимаемым с него, причем без исключения систем из процессов эксплуатации.

Также известны ресурсы (технические, материальные, трудовые и др.), необходимые или же выделенные для эксплуатации парка объектов. Решается задача автоматизации процессов эксплуатации парка объектов, на основе создания интеллектуальной автоматизированной технологии и системы управления процессами эксплуатации парка ТС по текущему состоянию. При этом требуется определить параметры состояния компонентов системы (мониторинг технического состояния), а также обеспечить раннее обнаружение скрытых неисправностей. Результатом мониторинга является оценка принадлежности объекта к классу исправного или к заданным неисправным классам состояний. Если выявлено неисправное состояние объекта, то требуется определить вид неисправности и получить оценку достоверности. На основе данных мониторинга объектов требуется получить прогноз возможных изменений состояний элементов ТС, а также установить рациональную очередность контроля и восстановления элементов, с учетом требований по безопасности транспортной системы и ограниченных ресурсов процессов эксплуатации.

Для распознавания кластеров в спектральных характеристиках ЭД использована сеть Кохонена. Выявление кластеров позволяет сопоставить с ними классы технического состояния электродвигателей и использовать SOFM сеть для классификации неисправностей. Анализ взаимного расположения кластеров на топологической карте позволяет выявлять сходства или различия между различными классами неисправностей. Использование сети Кохонена позволяет выявлять и новые виды неисправности ЭД, при этом их входные образцы будут размещены на топологической карте вне известных кластеров.

Входной слой сети Кохонена состоит из 256 элементов, на каждый из которых подаются величины интенсивности гармоник преобразования Фурье тока ЭД. Выходной слой сети представляет собой топологическую карту. В результате экспериментов лучшую способность к кластеризации показала топологическая карта размерностью 3 на 5 элементов.

Выполненные исследования и разработки позволяют перейти от плано-предупредительного метода эксплуатации к обслуживанию по фактическому техническому состоянию ЭД. К основным эксплуатационным свойствам разработанной системы относятся следующие: прогнозирование отказа ЭД на основе индивидуальных моделей; удаленная диагностика без исключения из процессов эксплуатации; самообучение и адаптация моделей объектов; простота эксплуатации; применимость к другим элементам технических систем (дизельные тяговые двигатели локомотивов).

При управлении парком ТС решается одна из основных подзадач эксплуатации ЭД – определение очередности ремонтов устройств, при диагностике которых установлены различные скрытые типы неисправностей, с учетом ограниченности ресурсов, к которым отнесены время ремонта, персонал, запасные части, денежные средства др.

В работе получено развитие методов и средств автоматизированной системы мониторинга и управления процессами эксплуатации парков элементов технических систем железнодорожного транспорта (АСМУПТС), предложенной в [1, 2], позволяющей перейти от плано-предупредительного метода эксплуатации к обслуживанию по фактическому техническому состоянию ЭД. Усовершенствование системы определяется следующим.

1. Формирование индивидуальных интеллектуальных моделей (ИМ) процессов

эксплуатации ЭД на основе данных мониторинга параметров текущего состояния без исключения из технологических процессов и их использование для планирования, как очередностей ремонтов, так и контрольных осмотров ЭД.

2. Планирование ремонтов и контрольных осмотров объектов парков ЭД на основе модифицированной модели транспортной задачи (проблема учета специализации путем «целераспределения» с ограниченными пропускными способностями [3, с. 139]), представленной в форме линейного программирования (ЛП) с нечеткими и интервальными коэффициентами [4].

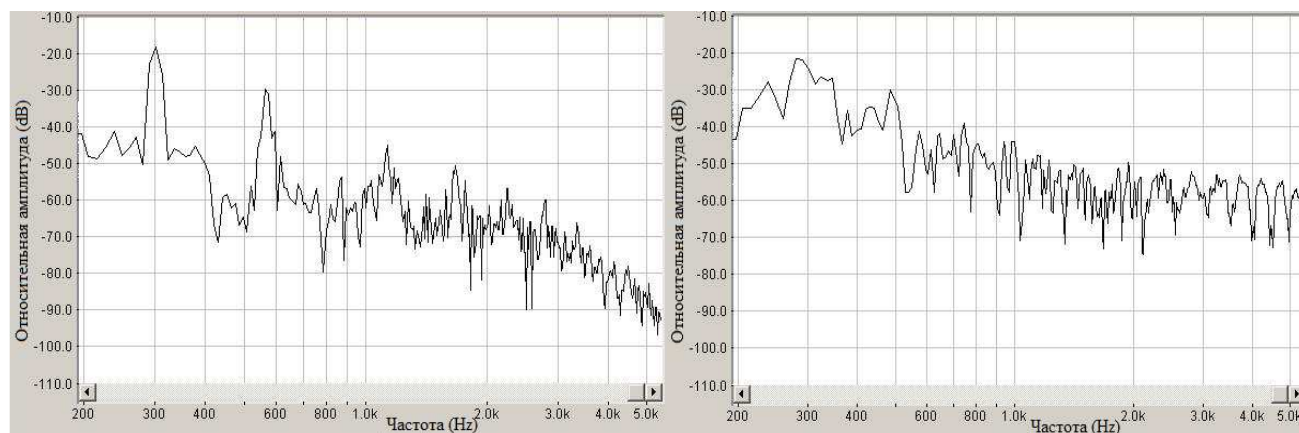
3. Адаптивное использование статистических данных (и экспертной информации в терминах лингвистических переменных о неисправностях ЭД) в процедурах прогнозирования оценок времен до отказов конкретных видов. Реализация задач прогнозирования технического состояния с использованием методов искусственного интеллекта [5].

4. Многокритериальность модели планирования процессов эксплуатации парков однородных технических систем (безопасность, эффективность, затраты др.), учет условий неоднородной неопределенности условий и значений параметров текущего состояния объектов [6].

Многоуровневая модель процессов управления парками технических систем на основе оценок текущего состояния.

На рис. 1 приведены примеры графиков спектров ЭД МСП-0,25 для таких типов неисправностей:

- а) короткое замыкание пластин коллектора;
- б) короткое замыкание секции якоря; подобные графики соответствуют «круговому огню по коллектору», «обрыву секции якоря» и др.



(а) (б)
Рис. 1. Примеры спектров токов двигателя модели МСП-0,25

Автоматизированная технология диагностирования и управления парком ЭД (рис. 2) основана на анализе частотного спектра *рабочего* тока двигателя.

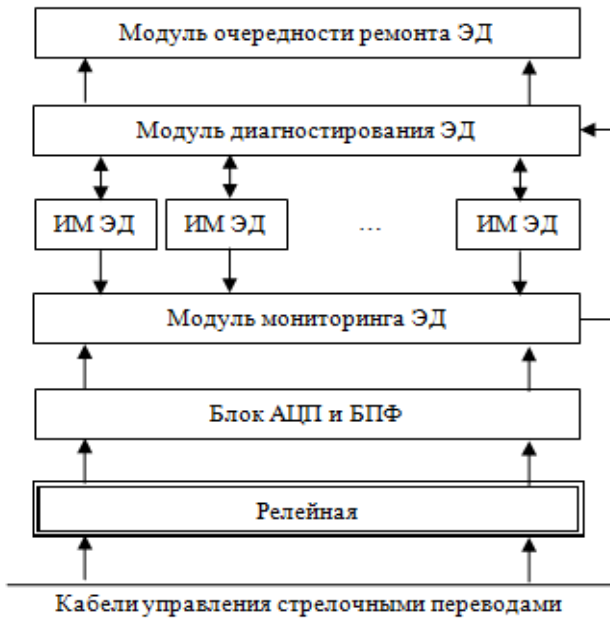


Рис. 2. Многоуровневая система АСМУПТС управления эксплуатацией парка электродвигателей стрелочных переводов

Дискретизация тока ЭД реализуется в блоке аналого-цифрового преобразователя (АЦП), получение спектральных характеристик тока реализовано с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ). Входными данными модуля мониторинга электродвигателей является частотный спектр тока ЭД, рассчитанный в блоке БПФ. Для каждого ЭД формируется индивидуальная модель (ИМ), которая также хранит спектральные характеристики исправного состояния двигателя.

Модуль мониторинга сравнивает спектр, полученный из блока БПФ, со спектром исправного состояния, прочитанного из соответствующей ИМ ЭД. При обнаружении их существенных различий выполняется модуль диагностирования. На выходе модуля диагностирования получают оценки достоверностей выявляемых неисправностей электродвигателя. Эти оценки сохраняются в ИМ ЭД, формируя временной ряд, который используется для прогнозирования технического состояния электродвигателя. Текущее и прогнозируемое техническое состояние каждого ЭД из модуля диагностирования передается в модуль очередности ремонта электродвигателей, который дает рекомендации о порядке ремонта ЭД.

Планирование ремонтов и контрольных осмотров методами нечеткого математического программирования

Планирование ремонтов (верхний уровень системы), а также контрольных осмотров (модуль диагностирования) объектов парка выполняется на основе модифицированной открытой модели транспортной задачи о «целераспределении» [3] с ограниченными пропускными способностями, имеющей коэффициенты, которые являются нечеткими или интервальными величинами, следующего вида:

$$R(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \hat{C}_{ij} X_{ij} \rightarrow \max_{\{X_{ij}\}} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq N_i, (j = \overline{1, n}); \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq \hat{d}_i^{(t)}, (i = \overline{1, m}); \quad (2)$$

$$X_{ij} \leq \hat{d}_{ij}, (i = \overline{1, m}); X_{ij} \geq 0, (i = \overline{1, m}), (j = \overline{1, n}). \quad (3)$$

В модели планирования в форме нечеткого математического программирования (НМП) (1) – (3) обозначено: X_{ij} – число заявок типа «i», которые обслуживает система типа «j»; \hat{C}_{ij} – матрица нечетких (интервальных) оценок эффективности обслуживания; $\hat{d}_{ij}^{(t)}$ – нечеткое число заявок типа «i» в период «t». В модели (1) – (3) нахождения максимума на заданной нечеткой области бинарная операция «+» обозначает сложение нечетких множеств. Решение указанной задачи сводится к решению ряда задач линейного программирования, путем введения дискретных α – уровней для нечетких величин [5, 6]. При этом нечеткие ограничения принимают интервальный вид. Для приведения (1) – (3) к виду обычной задачи линейного программирования теперь достаточно записать неравенства отдельно по левому и правому краям интервалов, с учётом знаков неравенства. При этом количество ограничений увеличилось в два раза и полученную задачу мы можем решить симплексным методом [3, 4].

Поскольку компоненты целевой функции (1) являются нечеткими, то необходимо выбирать для каждого уровня α соответствующие границы множеств в соответствии с правилами интервальной арифметики [3].

Таким образом, задача НМП (1) – (3) представляется в виде совокупности обычных задач ЛП на всевозможных множествах уровня множества

допустимых альтернатив. Если альтернатива X_0 является решением задачи на множестве уровня α , то число α считают степенью принадлежности альтернативы X_0 нечеткому множеству решений исходной задачи. Перебрав всевозможные значения α , получают функцию принадлежности нечеткого решения задачи (1) – (3).

Формирование индивидуальных интеллектуальных моделей процессов эксплуатации электродвигателей

Для распознавания кластеров в спектральных характеристиках ЭД использована сеть Кохонена [2, 5]. Выявление кластеров позволяет сопоставить с ними классы технического состояния электродвигателей и использовать SOFM сеть для классификации неисправностей. Анализ взаимного расположения кластеров на топологической карте позволяет выявлять сходства или различия между различными классами неисправностей. Входной слой сети состоит из 256 элементов, на каждый из которых подаются величины интенсивности гармоник преобразования Фурье тока электродвигателя [1]. Выходной слой сети представляет собой топологическую карту размерностью 3 на 5 элементов. Сеть SOFM отражает пространство входов в двумерное пространство топологической карты. Радиус окрестности для нейрона победителя при обучении сети уменьшался линейно от 3 до 0 [2]. Результирующая топологическая карта для кластеризации спектральных характеристик ЭД представлена на рис. 3, где показаны приблизительные границы кластеров технического состояния ЭД.

Знаки «+» обозначено положение входных образцов на карте, их близость к центрам нейронов и между собой. Кластеры обозначены следующим образом: исправен – 1, короткое замыкание обмотки – 2, короткое замыкание пластин коллектора – 3, обрыв секции якоря – 4, круговой огонь по коллектору – 5. Входные образцы, соответствующие исправному двигателю, хорошо локализованы, полностью соответствуют одному нейрону топологической карты. Кластеры других типов неисправностей имеют небольшие перекрытия.

Разработанная АСМУПТС управления эксплуатацией парка ЭД производит измерения характеристик двигателя, находящегося под воздействием номинальных, рабочих значений напряжения, тока, магнитного поля и центробежных сил. Это позволяет выявлять больше неисправностей, чем при использовании статических методов диагностики, и делает возможным замену электродвигателя до его полного выхода из строя.

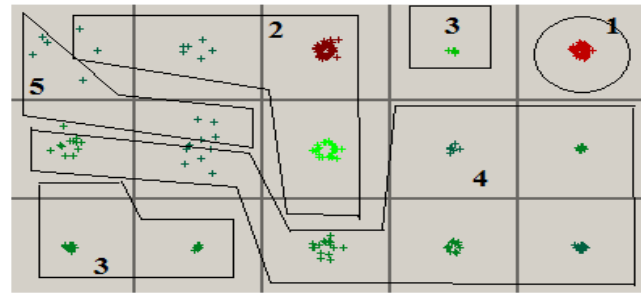


Рис. 3. Кластеризация спектральных характеристик электродвигателей в форме топологической карты

Разработанные модели диагностирования могут автоматически настраиваться для выявления новых видов неисправностей на основе анализа тока двигателей с эталонными неисправностями. Применение системы не требует высококвалифицированного инженера электромеханика, как для настройки, так и для эксплуатации.

Анализ полученных результатов и выводы

Разработаны методы и средства, предназначенные для эффективного мониторинга и управления автоматизированными процессами эксплуатации парков элементов технических систем железнодорожного транспорта, которые позволяют перейти от планово-предупредительного метода эксплуатации к обслуживанию по текущему состоянию ЭД. Система АСМУПТС обладает следующими свойствами: прогнозирование отказа ЭД на основе индивидуальных моделей; удаленная диагностика без исключения из процессов эксплуатации; самообучение и адаптация моделей объектов; оптимальное планирование ремонтов и контрольных осмотров ЭД на основе модифицированной модели транспортной задачи в форме нечеткого математического программирования; простота эксплуатации; применимость к другим элементам технических систем (дизельные тяговые двигатели локомотивов). Представленная система имеет следующие технико-экономические показатели: повышение безопасности движения поездов; возможность выявления неисправности за 6 месяцев до отказа двигателя; восстановление двигателя с меньшими затратами за счет ранней диагностики; сокращение эксплуатационных затрат на основе непрерывного мониторинга состояния ЭД и совершенствования планирования контрольных осмотров и очередности ремонтов.

Литература

1. Скалозуб В.В. Нейросетевые модели диагностики электродвигателей постоянного тока /В.В. Скалозуб, О.М. Швец // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 4. – С. 7–11.
2. В.В. Скалозуб, О.М. Швец, В.Н. Осовик. Методы интеллектуальных систем в задачах управления парками объектов железнодорожного транспорта по текущему состоянию // В сб. «Питання прикладної математики і математичного моделювання». м. Дніпропетровськ, вид. ДНУ, 2014. С. 40 – 47.
3. Зайченко Ю.П. Исследование операций. – Киев: Вища школа, 1989. – 392 с.
4. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях / Монография. - Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та. 2000. – 295 с.
5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.
6. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования / Б. Лю; Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 416 с.

Скалозуб В.В., Осовик В.М. Індивідуальні інтелектуальні моделі для експлуатації однорідних залізничних технічних систем на основі параметрів поточного стану. Розроблено інтелектуальні моделі для управління процесами моніторингу та експлуатації однотипних залізничних технічних систем на основі параметрів поточного стану. З використанням індивідуальних моделей процесів експлуатації електричних двигунів вирішуються завдання моніторингу, діагностування, прогнозування та визначення черговості їх ремонтів.

Ключові слова: парк однорідних технічних систем, стрілочні переводи, електродвигуни, поточний технічний стан, процеси експлуатації, інтелектуальні методи, індивідуальні математичні моделі процесів, нечітке математичне програмування, нейронні мережі.

Skalozub Vladislav, Osovik Vladimir. Individual intelligent models for operating a number of unified railway engineering systems based on the current state parameters. Intelligent models for monitoring and operating processes management of uniform railway engineering systems based on the current state parameters have been developed. Monitoring, diagnosing, forecasting and prioritized repair tasks are solved by means of individual models of electric motors operation.

Key words: a number of unified engineering systems, rail turnouts, electric motors, the current technical state, operating processes, intellectual methods, individual mathematical models of processes, fuzzy mathematical programming, neural networks.

Поступила 10.09.2014г.