

— изменение маршрутов и расписаний — внедрение двухэтажных вагонов может потребовать корректировки маршрутов и расписаний для обеспечения оптимальной загрузки поездов.

Перечислим отличительные черты двухэтажных пассажирских поездов.

1 Наличие двух этажей влияет на распределение массы поезда. Большая масса может потребовать больше энергии для разгона и преодоления подъёмов, а также влиять на устойчивость и динамику поезда.

2 Из-за расположения пассажиров и грузов на разных уровнях центр масс поезда может смещаться, что требует более точного управления и может влиять на устойчивость поезда на поворотах и при изменении скорости.

3 Форма и конструкция поезда могут влиять на ее аэродинамические характеристики. Двухэтажные поезда могут иметь более сложную форму, что увеличивает сопротивление воздуха и, следовательно, расход энергии на движение. Отличительными параметрами конструкции этих вагонов является то, что кузов обладает большей высотой по сравнению с обычными одноэтажными вагонами, имеет понижение в салонной части и не имеет на ее протяжении хребтовой балки. Основная масса оборудования размещается внутри в концевых частях вагона. Эти факторы приводят к увеличению боковых колебаний и уменьшению устойчивости к опрокидыванию двухэтажных вагонов при движении по неровностям пути. Для уменьшения влияния этих факторов на динамические параметры вагона в конструкцию подвешивания была включена система боковой стабилизации на торсионноупругих элементах.

Для обеспечения безопасности движения поезда на разных скоростях и в различных условиях требуется эффективная система торможения. Особенности распределения массы и нагрузки на вагоны могут влиять на требования к тормозной системе.

Двухэтажные поезда могут иметь другие характеристики устойчивости и колебаний по сравнению с одноэтажными поездами.

Оптимизация расхода энергии является важной задачей для железнодорожного транспорта. Особенности конструкции двухэтажных поездов могут влиять на их энергоэффективность, например, через оптимизацию расположения оборудования и использования материалов.

Подводя итоги, можно сказать, что на железных дорогах России необходимо массовое использование двухэтажных пассажирских вагонов, особенно в городах-миллионниках и регионах с высокой плотностью населения и интенсивным пассажиропотоком. К тому же на железнодорожный транспорт приходится около 28 % пассажирооборота в России. Однако тормозить этот процесс может и тот фактор, что большинство пассажирских вагонов остаются в удовлетворительном состоянии, а производство двухэтажных пассажирских вагонов требует высокой точности и качества изготовления. Вагоны должны соответствовать всем требованиям безопасности и комфорта.

УДК 621.31

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ВИТКОВ В ОБМОТКАХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ ПОД НАГРУЗКОЙ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В. Н. ГАЛУШКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Основная задача обнаружения короткозамкнутых витков (МКЗ) в обмотках трансформаторов и трехфазных асинхронных двигателей (АД) при работе под нагрузкой обнаружения состоит в извлечении информативных признаков из данных, которые будут захвачены и переданы датчиком для обработки в сверточную нейронную сеть (СНС), и затем выполнении классификации типа дефекта.

Экономическая ситуация, сложившаяся в последние годы в промышленности, заставляет принимать меры, направленные на увеличение сроков эксплуатации различного электротехнического оборудования. Решение задачи по оценке технического состояния широко распространенных однофазных и трехфазных трансформаторов, применяемых в электроснабжении железнодорожных потребителей, в значительной мере связано с внедрением эффективных методов инструментального контроля и технической диагностики.

Следует отметить, что за прошедшие годы была проделана большая работа по созданию методов диагностики трансформаторного оборудования, позволяющих при комплексном их применении адекватно оценить состояние обследуемого объекта с высокой надежностью. Однако при этом количество трансформаторов, «доживающих» до отказов по причине термохимического старения твердой изоляции, составляет по разным источникам не более 20 %. Причиной отказа большинства трансформаторов являются различные своевременно не выявленные дефекты. Сложившаяся ситуация во многом обусловлена низкой эффективностью традиционной схемы диагностики.

Несмотря на все безусловные достоинства применяемых в нашей стране диагностических систем, они имеют ряд существенных недостатков: не являются универсальными (применяются под конкретные схемы, оборудование и т. д.); используется разнородная и разноточная информация; не учитывается динамика изменения критериев диагностирования оборудования, другими словами, системы не обучаемы. Поэтому применение самообучаемых систем на основе искусственных нейронных сетей позволит устранить перечисленные недостатки.

1 Трансформатор. Для сбора и передачи данных на компьютер был разработан программно-аппаратный комплекс, под названием «детектор неисправностей», описание которого представлено в статье [1]. В основе данного устройства лежат два энергометра, которые измеряют ток, напряжение, активную мощность и коэффициент мощности на первичной и вторичной обмотках трансформатора. Алгоритм распознавания МКЗ предусматривает контроль нескольких отношений напряжений, токов, мощностей и коэффициентов мощностей первичной и вторичной обмоток, что снижает вероятность ошибки.

На основании данных исследований был разработан алгоритм, суть которого заключается в детектировании межвиткового короткого замыкания с помощью СНС. Для каждого из отношений формируются изображения, которые затем подаются на входы СНС. Алгоритм состоит из нескольких частей: формирование массива данных; создание изображений; классификация и окончательный анализ.

Для проверки работоспособности предложенного метода было разработано программное обеспечение и проведена серия экспериментов трансформаторах отделений Белорусской железной дороги [1].

Научная и практическая значимость результатов и основных положений исследования состоит в том, что:

- разработанный и апробированный диагностический комплекс обнаружения межвитковых замыканий и дефектов сердечника трансформаторов на основе сверточных нейронных сетей с использованием в качестве исходных данных изображений: графиков отношений напряжений, токов и активных мощностей первичной и вторичной обмоток при работе под нагрузкой; вольт-амперных кривых активной составляющей тока холостого хода; изменений форм фазовых характеристик, числа резонансов и смещения резонансных частот;

- представлена схемотехническая реализация системы диагностирования, реализующая метод обнаружения короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов при работе под нагрузкой и по частотным характеристикам с помощью искусственных нейронных сетей. Средняя точность реализованных архитектур сверточных нейронных сетей на разных наборах данных превысила 0,991.

2 Асинхронный двигатель. Для получения входных параметров для нейронной сети для метода обнаружения короткозамкнутых витков при работе под нагрузкой использовались энергометры, а на основе частотных характеристик при МКЗ, МФЗ, дефектах сердечника и обмотки короткозамкнутого ротора, а также повреждениях подшипников использовались метод трех вольтметров или частотомер.

Определение неисправностей подшипников основано на использовании вибродиаграмм при контроле вибрации колесно-моторных блоков локомотивов с помощью виброанализатора СД-21.

Метод обнаружения МКЗ основан на контроле отношений токов и напряжений АД с КЗР, как в режиме холостого хода, так и под нагрузкой. В основе разработанного устройства лежат три энергометра (например, AC communication modules PZEM-004T-100A, которые измеряют ток, напряжение, активную мощность и коэффициент мощности в каждой из фаз АД или мультиметр *Uni-t UT61E+*). Далее полученная информация отправляется через интерфейсы USB-UART на компьютер, где происходит ее обработка.

Искусственно были созданы повреждения изоляции для различного числа витков. Выполнялось контролируемое управление режимами МКЗ (включение, отключение, переключение на различное число витков) с помощью реле, закрепленного на подшипниковой крышке. Основным преимуществом такого подхода является использование сравнительно недорогого оборудования, позволяющего с большой точностью определить один из самых распространенных дефектов электродвигателей. К тому же отслеживание неисправности позволяет постепенно отходить от системы планово-

предупредительных ремонтов, широко распространенных в локомотивных депо, к системе оценки оборудования по фактическому техническому состоянию.

Для установления изменений, происходящих в фазах АЭД при МКЗ, был поставлен ряд экспериментов. В качестве испытуемого образца были использованы АД серий 4А и АИР мощностью 0,12; 0,18; 1,5; 1,7 кВт. Проведение эксперимента позволило осуществить следующее:

- понять процедуру действий по предотвращению опасного отказа при возникновении МКЗ;
- определить минимум необходимого оборудования для обнаружения данной неисправности;
- унифицировать проведение диагностики для машин малой, средней и большой мощности.

Повреждение изоляции статорных обмоток контролировалось с помощью измерения сопротивления и составления пропорции для оценки процента короткозамкнутых витков.

Таким образом, при разработке метода обнаружения МКЗ в обмотках трансформаторов и АД при работе под нагрузкой на основе СНС решены следующие задачи [1, 2].

1 Реализованы архитектуры сверточных нейронных сетей с использованием изображений, полученных при работе трехфазного АД под нагрузкой, средняя точность которых на разных наборах данных превысила 0,98.

2 Разработан метод обнаружения межвитковых замыканий в обмотках трансформаторов и АД с помощью искусственных нейронных сетей при работе под нагрузкой и в режиме холостого хода по частотным характеристикам с помощью сверточных нейронных сетей.

3 Представлена схемотехническая реализация системы диагностирования, реализующая метод обнаружения короткозамкнутых витков в обмотках статора асинхронных двигателей.

Список литературы

1 Галушко, В. Н. Система диагностирования неисправностей трансформаторов на основе сверточных нейронных сетей / В. Н. Галушко, А. В. Дробов, И. Л. Громуко // Энергетическая стратегия. – 2023. – № 4 (94). – С. 46–51.

2 Галушко, В. Н. Диагностика асинхронного двигателя с применением вибранализатора и сверточной нейронной сети / В. Н. Галушко, А. В. Дробов, Д. В. Мирош // Энергетическая стратегия. – 2024. – № 1 (97). – С. 38–42.

УДК 533.6.011:004.94

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ СЦЕПА ПЛАТФОРМ С ГРУЗАМИ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

M. Г. ГЕГЕДЕШ

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

A. В. ВОРОЖУН

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Аэродинамические характеристики железнодорожных составов являются ключевыми факторами, влияющими на оптимизацию конструкции транспортных средств и обеспечение их безопасной эксплуатации, особенно при движении на высоких скоростях. Обтекающие вокруг вагонов и грузов воздушные потоки могут вызывать дополнительные аэродинамические нагрузки, которые воздействуют на устойчивость состава, параметры сопротивления движению и взаимодействия элементов сцепа вагонов, что необходимо оценивать при анализе динамики подвижного состава.

Целью представленной работы является анализ распределения воздушных потоков вокруг сцепа вагонов с размещенным грузом различной высоты с применением программного комплекса для инженерных расчетов ANSYS.

Разработаны модели сцепа железнодорожных платформ базой 9720 мм без вагонов прикрытия. При этом рассматривались грузы различной конфигурации (рисунок 1, *а*). Произведены расчеты для случаев изменений направления ветра на угол 30, 45, 60 и 90° по отношению к продольной оси сцепа (рисунок 1, *б*), что позволяет изучить влияние различных атмосферных условий на аэродинамические параметры сцепа.