

Из рисунков 1–3 видно, что собранная трехфазная модель асинхронного тягового двигателя в программной среде Matlab Simulink позволяет анализировать несимметричные режимы переменных состояния электродвигателя.

Таким образом, показано, что искусственные сети являются мощным и доступным инструментом, способным давать достоверные результаты при технической диагностике асинхронных тяговых электродвигателей подвижного состава. Представленная математическая модель локомотивных асинхронных электродвигателей в трехфазной системе координат позволяет максимально достоверно описать физические процессы при повреждении АТЭД.

Список литературы

- 1 **Хамидов, О. Р.** Математическая модель вибровозмущающих сил локомотивного асинхронного электродвигателя / О. Р. Хамидов, М. Н. Панченко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – № 4 (37). – С. 60–67.
- 2 Аппарат искусственных нейронных сетей для диагностики современного локомотива / А. В. Грищенко [и др.] // Локомотив. – 2012. – № 7. – С. 36–40.
- 3 **Хамидов, О. Р.** Разработка методики комплексного диагностирования асинхронного тягового электродвигателя подвижного состава железнодорожного транспорта / О. Р. Хамидов, О. Т. Касымов // Материалы конференции ГНИИ «Нацразвитие»: сб. избранных статей. – 2017. – С. 32–39.
- 4 Использование нейро-нечетких диагностических моделей при оценке технического состояния электрооборудования тепловоза / А. В. Агунов [и др.] // Электротехника. – 2017. – № 10. – С. 14–18.
- 5 **Хамидов, О. Р.** Оценка технического состояния асинхронных тяговых электродвигателей электровозов серии «UZ-EL» средствами вибродиагностики / О. Р. Хамидов, О. Т. Касымов // Материалы конференции ГНИИ «Нацразвитие». – 2017. – С. 13–19.
- 6 **Хамидов, О. Р.** Вибродиагностика повреждения подшипников качения локомотивных асинхронных электродвигателей / О. Р. Хамидов, А. В. Грищенко // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты // VIII Международная научно-техническая конференция, Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 3–7 июля. – 2013. – С. 174–176.
- 7 **Grishchenko, A. V.** Diagnostics of the Technical Condition of Rolling Bearings of Asynchronous Traction Motors of Locomotives Based on Data Mining / A. V. Grishchenko // Russ. Electr. Engin. – 2020. – Vol. 91. – P. 593–596. – DOI: 10.3103/S1068371220100119
- 8 **Djanikulov, A. T.** Modeling of rotational oscillations in a diesel locomotive wheel-motor block / A. T. Djanikulov, Sh. I. Mamaev, O. T. Kasimov // Journal of Physics: Conference Series. ICMSIT-II 2021, IOP Publishing. – 1889 (2021) 022017. – DOI:10.1088/1742-6596/1889/2/022017.
- 9 **Kasimov, O. T.** Causes of rolling stock brake equipment failures. / O. T. Kasimov, Sh. I. Mamaev, A. V. Grishchenko // Journal of Technical science and innovation. – 2021. – No. 2. – P. 303–307. ISSN 2227-1031 (Print) ISSN 2414-0392 (Online).

УДК 656.22

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ПОЕЗДОВ

О. С. ЧАГАНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Одним из важных вопросов, связанных с безопасностью движения поездов на железнодорожном транспорте, является определение сил сопротивления движению подвижного состава. В настоящее время расчет этих сил производится по различным методикам. Анализ современных исследований по креплению железнодорожных составов на станционных путях выявил, что данный вопрос актуален из-за несовершенства существующих нормативных документов.

На территории стран, входящих в Организацию сотрудничества железных дорог (ОСЖД), используются Правила тяговых расчетов [1], в соответствии с которыми на состав действует сила сопротивления, определяемая выражением

$$W = \sum_{j=1}^k W_j = \sum_{j=1}^k w_{oj}'' Q_{\text{ваг}} g, \quad (1)$$

где w_{oj}'' – основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов на звеньевом пути для 4-осных вагонов на роликовых подшипниках ($q_{o4} > 6$ т),

$$w_{oj}'' = 0,7 + \frac{3 + 0,1v + 0,0025v^2}{q_{o4}}, \quad (2)$$

q_{o4} – осевая нагрузка четырехосных вагонов, т/ось,

$$q_{04} = \frac{Q_{\text{ваг}}}{4}; \quad (3)$$

$Q_{\text{ваг}}$ – это вес одного вагона;

Полагая в приведенных выражениях скорость равной нулю, получаем максимальные значения сил сопротивления, действующих на неподвижный вагон.

При нахождении поезда на станционных путях на вагоны действуют и иные силы: ветра, сопротивления движению при нахождении в кривой и др. Однако значения этих сил невелики, и, кроме того, в значительной мере носят случайный характер, что отражается на разбросе значений величин, наблюдаемом в результатах испытаний и таким образом будет автоматически учтено в случае обнаружения достоверной статистической закономерности.

В [2] сопротивление движению обычно определяется как сумма сопротивления качению и сопротивления воздуха. В большинстве случаев увеличение сопротивления движению транспортного средства из-за кривизны пути рассматривается отдельно. Подвижной состав различной формы и размеров, сложность аэродинамического сопротивления приводит к использованию эмпирических формул при расчете сопротивления качению. Сопротивление движению выражается уравнением вида

$$R = R_1 + R_2v + R_3v^2,$$

где R_1 – коэффициент, зависящий только от веса транспортного средства и типа подшипника; R_2 – коэффициент динамических потерь поезда; R_3 – коэффициент сопротивления воздуха.

В работе [3] представлен параметр R_1 , определяемый как сопротивление, зависящее от массы транспортного средства и от количества осей; уравнение вида $R_1 = ax + b$ [4], приведенное в имперских единицах $1,3wn + 29n$, где w – нагрузка на ось, а n – число осей. Второй член в основном зависит от трения гребня, поэтому коэффициент R_2 обычно мал (отсутствует в некоторых эмпирических формулах), а третий член зависит от сопротивления воздуха. Используемые формы уравнений сопротивления движению и выбранные эмпирические коэффициенты варьируются в зависимости от железнодорожных систем, что отражает использование уравнений, которые более точно соответствуют различным типам подвижного состава и скоростям движения. Список формул сопротивления движению представлен ниже на основе работ [3] и [4]. Все уравнения переведены в единицы СИ и выражены в ньютонах на тонну массы. Существует множество вариантов уравнений сопротивления движению. Далее приведены эмпирические формулы сопротивления движению грузового подвижного состава, используемые в зарубежных нормативных документах. Оригинальное уравнение Дэвиса –

$$R = 6,376 + \frac{129}{m_a} + Bv + \frac{CAv^2}{m_a n},$$

где B – поправочный коэффициент (0,091 – для локомотивов; 0,137 – для товарных вагонов); C – поправочный коэффициент (0,044 – для локомотива, 0,0092 – для товарного вагона); A – площадь передней части подвижного состава, м²;

Модифицированное уравнение Дэвиса –

$$R = K_a \left[2,943 + \frac{89}{m_a} + 0,0305v + \frac{1,718k_{ad}v^2}{m_a n} \right],$$

где K_a – поправочный коэффициент, зависящий от типа подвижного состава (равен 1,0 для подвижного состава постройки до 1950 г., 0,85 – для постройки после 1950 г.; 0,95 – для контейнера на платформе; 1,05 – для прицепа на платформе; 1,05 – для вагона-хоппера; 1,2 – для пустых крытых автоэстакад; 1,3 – для груженых крытых автоэстакад); k_{ad} – константа сопротивления воздуха в зависимости от типа вагона (0,07 – для обычной техники; 0,0935 – для контейнеров, 0,16 – для прицепов на платформах); v – скорость, км/ч; m_a – масса, приходящаяся на ось, т; n – количество осей.

Во Франции применяются следующие выражения для расчета сил сопротивления:

– локомотивы –

$$R = 0,65m_a n + 13n + 0,01m_a n v + 0,03v^2;$$

– грузовые вагоны французского стандарта UIC –

$$R = 9,81 \left(1,25 + \frac{v^2}{6300} \right);$$

– французские грузовые вагоны с нагрузкой на ось 10 т –

$$R = 9,81 \left(1,5 + \frac{v^2}{1600} \right).$$

В Германии применяется формула Страла –

$$R = 25 + k \frac{(v + \Delta v)}{10},$$

где k – экспериментально определённый коэффициент, равный 0,05 для смешанных грузовых поездов и 0,025 – для маршрутных поездов; Δv – скорость встречного ветра, обычно принимаемая равной 15 км/ч.

Даже с учетом параметров, описанных выше, влияние многих факторов не учитывается в следствии сложности расчета. Это касается аэродинамического сопротивления, конструкции кузова транспортного средства, имеющего более сложную структуру, чем это следует из представленных нескольких поправочных коэффициентов. Наблюдалось более высокое аэродинамическое сопротивление из-за добавления встречного ветра с небольшой составляющей бокового ветра для определенных типов поездов (например, открытых порожних вагонов-хопперов).

Таким образом, выполненный анализ учета сил сопротивления движению вагона показал, что из-за сложности учета всех факторов, влияющих на движение подвижного состава, большинство формул являются эмпирическими. Приведенные данные могут быть использованы для динамических расчетов и уточнения значений действующих нагрузок.

Список литературы

- 1 Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.
- 2 Design and Simulation of Heavy Haul Locomotives and Trains / M. Spiryagin [et al.]. – 1nd ed. – CRC Press, 2016. – 459 p.
- 3 Hay, W. W. Railroad Engineering / W. W. Hay. – 2nd ed. – John Wiley & Sons, 1982. – 784 p.
- 4 Profillidis, V. A. Railway Engineering / V. A. Profillidis. – 2nd ed. – Ashgate Publishing, 2000.

УДК 621.33

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТОКОСЪЕМА ТРАМВАЙНОГО ТОКОПРИЁМНИКА НА СТЫКАХ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Д. А. ЧЕМОДАНОВ, Ф. М. ЛАУХИН

Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Во время эксплуатации трамвая образование дуги между контактным проводом и токоприемником приводит к возникновению ряда проблем.

1 Выгорание контактной накладке на токоприемнике влечет за собой образование раковин и ухудшение скольжения провода.

2 Обгорание контактного провода и стыков приводит к ослаблению контактного провода и появлению мест разрыва [1, с. 21].

3 Кратковременное нарушение электропитания приводит к перебоям в работе бортовых систем трамвая.

Накладка полоза токоприёмника выполнена из алюминия, температура плавления которого достаточно невысокая. В момент прохождения стыков контактной сети происходит кратковременное нарушение контакта, в результате чего возникает дуга между контактным проводом и накладкой. На накладке, а также и на контактном проводе или соединительных элементах образуются значительные раковины от испарения металла – поджоги. Эти поджоги снижают качество токосъема за счёт снижения площади контакта накладке и провода, а также могут способствовать зацепу провода за поверхность при перемещении его вдоль накладке [2, с. 44].

Решение данной проблемы видится в модернизации системы питания трамвая путем внедрения бустерного источника энергии, который обеспечит автономное питание двигателей и вспомогательных систем трамвая во время прохождения стыков контактной сети. Чтобы автоматизировать