

## СРАВНЕНИЕ ДВУХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА РЕЛЬС

*Ю. П. БОРОНЕНКО*

*«Научно-внедренческий центр “Вагоны”», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

*Д. А. СЕРГЕЕВ, Д. Е. КУМПИЯК*

*ООО «Тихвинский испытательный центр железнодорожной техники», Российская Федерация*

Повышение точности определения характеристик силовых факторов, действующих на путь при движении железнодорожного состава, является одним из важнейших критериев роста качества измерений и, как следствие, необходимым условием для более глубокого понимания процессов, протекающих в подвижном составе во время эксплуатации.

В докладе рассматривается подход к определению мгновенных значений вертикальной нагрузки на рельс, основанный на кусочно-непрерывном измерении разности перерезывающих сил в двух сечениях рельса, возникающих при изгибе последнего. Анализируются аспекты практической реализации данного метода на действующих железнодорожных путях.

Приводятся результаты апробации метода измерения вертикальной нагрузки на рельс по напряжениям в двух сечениях на скоростном испытательном полигоне. Показывается, как изменяются форма регистрируемого сигнала и объём полезной выборки от различных способов масштабирования исходного сигнала аппаратуры.

В докладе предлагаются для рассмотрения результаты сравнения предложенного метода с методом определения вертикальной нагрузки на рельс согласно ГОСТ Р 55050–2012.

Одним из основных специфических аспектов описанного метода является ограниченность участка рельса, на котором может быть реализована непрерывная регистрация. Но данный недостаток может быть частично устранён увеличением количества последовательных измерительных сечений на рельсе.

### Список литературы

- 5 Анисимов, П. С. Испытания вагонов : [монография] / П. С. Анисимов. – М. : Маршрут, 2004. – 197 с.
- 6 Вериго, М. Ф. Динамика вагонов. Конспект лекций / М. Ф. Вериго. – М. : Типография ВЗИИТа, 1971. – 173 с.
- 7 Чернышев, М. А. Практические методы расчета пути / М. А. Чернышев. – М. : Транспорт, 1967. – 236 с.
- 8 Железнодорожный путь / Т. Г. Яковлева [и др.] ; под ред. Т. Г. Яковлевой. – М. : Транспорт. 1999. – 405 с.

## МАТЕМАТИКО-ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

*Д. А. БОСЫЙ, Д. Р. ЗЕМСКИЙ*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

Проектная и научно-исследовательская деятельность, касающаяся современных систем тягового электроснабжения, в отличие от трёхфазных систем питания со стационарной нагрузкой усложняется учетом движения поездов согласно принятому графику движения, неоднородностью элементов системы «контактная подвеска – рельс», необходимостью учитывать шунтирующие действие земли, а также использованием рельсовой и контактной сети для электропитания стационарных потребителей.

Задачи, которые возникают перед специалистами, часто требуют тщательного анализа электроэнергетических процессов в системе электроснабжения. В то же время от полноты модели, которую используют для вычисления параметров режимов электротяговых сетей, зависит качество расчетов, а также возрастает количество задач, для решения которых данную модель возможно применить. На сегодня существует ряд программных комплексов для анализа установившихся режимов в системах электроснабжения общего назначения с возможностью расчета тяговых систем питания, а также программ,

предназначенных для прогнозирования и оценки эксплуатационных показателей железнодорожного транспорта.

Среди наиболее мощных программ для моделирования систем тягового электроснабжения широко известна OpenPowerNet, которая разработана институтом железнодорожных технологий, позволяет анализировать нагрузку сетей постоянного и переменного тока, рассчитывать тяговые усилия для OpenTrack (программа расчета логистических потоков в железнодорожной сети), токи короткого замыкания, магнитное поле. Также известны продукты для инженерного проектирования и управления PSS SINCAL (Siemens, Германия) и eTraX (ETAP, США).

Описанные продукты находятся в коммерческом использовании, что, соответственно, затрудняет их применение в инженерных и научных работах широкого круга специалистов. К тому же зарубежные программы, как правило, не учитывают местной специфики: параметры эксплуатируемого подвижного состава и особенности систем электрификации, наличие систем электроснабжения сторонних потребителей от сетей железной дороги.

Поэтому создание своего программного продукта для осуществления расчетов может оказаться полезным для некоммерческого использования специалистами разного профиля.

Авторами создана базовая библиотека функций, которая реализует алгоритмы для построения моделей систем тягового электроснабжения переменного и постоянного тока с возможностью совместного моделирования системы внешнего электроснабжения и систем питания нетяговых потребителей.

К разработанной модели выдвигались следующие требования:

- универсальность;
- обеспечение точности расчетов;
- простота формализации алгоритма построения компьютерной модели;
- обеспечение экономичности вычислительных ресурсов;
- обеспечение значимых для поставленной задачи свойств системы электроснабжения.

Для обеспечения универсальности модели в случае произвольной конфигурации исследуемой системы, повсеместно используется метод декомпозиции: систему электроснабжения разделяют на простые подсистемы – унифицированные блоки, из которых возможно собирать модели различной сложности. Универсальность модели также обеспечивает пофазное представление в схеме замещения исследуемого объекта, что удобно при расчете несимметричных режимов работы системы.

В библиотеке разработаны функции, которые на данный момент реализуют модели:

- электроэнергетической системы;
- трёхфазной линии;
- тяговой подстанции переменного тока;
- тяговой подстанции постоянного тока с выпрямителями;
- тяговой сети;
- параметрически задаваемой нелинейной нагрузки (электроподвижной состав);
- трёхфазной нагрузки;
- линии «два провода – рельс».

Точность расчетов обеспечивается использованием соответствующих численных методов расчета системы дифференциальных уравнений и степенью детализации модели. Простота реализации алгоритма зависит от выбранного метода математического описания системы электроснабжения и электрических параметров оборудования. В то же время параметры оборудования, а как следствие и численные методы расчета, зависят от моделирования необходимого режима.

Например, нет необходимости учитывать нелинейность трансформатора в установившихся режимах работы при токах в обмотках, близких к номинальным значениям. При этом допущении значительно уменьшается время моделирования. Также при моделировании простых систем цепей, где скорость изменения значений неизвестных приблизительно одного порядка, рациональней использовать одношаговые явные численные методы для решения системы дифференциальных уравнений. В случаях исследования бросков тока при включении трансформатора на холостой ход учет насыщения магнитной системы имеет важное значение. Системы уравнений, которые описывают такие цепи, могут оказаться жесткими и, соответственно, требуют использования специальных методов численного расчета.

В зависимости от целей исследования возможно также использовать различные подходы к представлению подвижного состава. Реализована также возможность моделирования электроподвижного состава через двухполосник с активным сопротивлением и индуктивностью с постоянными значениями или зависимыми от времени (т. н. активная и обменная характеристики) [1].

Значительного упрощения процесса построения оптимизационных моделей возможно достичь, применяя методику, которая предложена в Днепровском национальном университете железнодорожного транспорта. Её суть заключается в определении сопротивления тяговой сети как функции в зависимости от расположения поезда на участке, схемы питания и секционирования тяговой сети. Суммарный ток от нескольких нагрузок на межподстанционной зоне определяется по принципу суперпозиции. Такой подход Э. С. Почаевца получил дальнейшее развитие в современных работах, где использовался для моделирования процессов в системе тягового электроснабжения постоянного тока.

#### Список литературы

1 Косарев, А. Б. Основы теории электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения переменного тока / А. Б. Косарев. – М. : Интекст, 2004. – 272 с.

2 Энергетика тяговых сетей : [монография] / В. Г. Сиченко [та ін.] ; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. В. Г. Сиченка. – Дніпро : Стандарт-Сервіс, 2017. – 210 с.

УДК 629.421.4

### РАСЧЕТНАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТИВ СХОДА С РЕЛЬСА КОЛЕСА МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА ЧМЭЗ

*Г. Е. БРИЛЬКОВ, А. В. ПУТЯТО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*В. А. МАЗЕЦ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Маневровое движение на Белорусской железной дороге обеспечивается тепловозами серий ЧМЭЗ, ТМЭ, ТГМ, ТГК, ТЭМ, из которых более 70 % приходится на маневровые тепловозы серии ЧМЭЗ. К одним из серьезных недостатков тепловозов серий ЧМЭЗ, с которыми приходится сталкиваться в эксплуатации, относятся неисправности колесных пар. Анализ данных, регистрируемых в журнале ремонта колесных пар, в локомотивных депо Молодечно и Минск показал, что основными неисправностями являются износ бандажей, ползуны, выщербины и раковины на поверхности катания, трещины колесных центров и бандажей, ослабление и сдвиг колеса на оси. Высокая интенсивность износа бандажей, а также повреждения поверхности катания приводят к увеличению числа их замены при выполнении ремонта и, как следствие, увеличению его стоимости.

На тепловозах ЧМЭЗ применены одноповодковые буксовые узлы с двухрядными сферическими самоустанавливающимися подшипниками, позволяющими передавать осевые силы без специального осевого упора. Однако такая конструкция не дает возможности смещения осей колесных пар вдоль корпуса букс, усложняя вписывание тепловоза в кривые. Вписывание в кривую малого радиуса обеспечивается в большей степени за счет упругого перемещения в осевом направлении на 3–3,5 мм и поворота колесных пар на небольшой угол при смятии резиновых элементов крепления буксовых узлов к раме тележки. Данная особенность конструкции тележки тепловоза серии ЧМЭЗ отличает его от большинства современных тепловозов, у которых свободный разбег средних колесных пар достигает  $\pm 14$  мм.

Таким образом, целью настоящей работы является оценка прочности колеса маневрового тепловоза серии ЧМЭЗ, а также его устойчивости от схода с рельс при движении в кривой малого радиуса.

Оценка боковых сил, действующих на колеса тепловоза при движении в кривой, выполнена экспериментальным путем на территории испытательного центра БелГУТа. В качестве объекта исследований принят маневровый тепловоз серии ЧМЭЗ № 5332. Регистрация боковых сил осуществлялась при скорости движения 3–5 км/ч, причем тепловоз проезжал трижды в направлении «вле-