

В рамках уточненной методики предлагается расположение компьютерных моделей антропометрических манекенов на различных пассажирских местах в положениях «стоя», «сидя» и «лежа». Расчет параметров комфорта проводится по ускорениям, полученным на манекенах с учетом «наихудших» с точки зрения обеспечения комфорта мест расположения пассажира и его позы.

Апробация методики выполнена на примере твердотельной компьютерной модели электропоезда с принудительным наклоном кузова в кривых с местами для сидения, разработанной в среде программного комплекса моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм». Для оценки динамических воздействий на пассажиров использованы твердотельные модели антропометрических манекенов типа Hybrid III 50th Male Dummy [5].

Сопоставление результатов оценки уровня комфорта пассажиров электропоезда при прохождении кривых участков пути, полученных по результатам математического моделирования с использованием методик, рекомендуемых в [1–3], и предлагаемой методики показало их расхождение на 10 – 45 %. Показатели комфорта, рассчитанные по предлагаемой методике, для всех рассматриваемых вариантов ниже результатов расчета по методикам [1–3]. Наибольшие расхождения получены для положения пассажира «стоя» в тамбуре вагона у входной двери, наименьшие – для положения «сидя» в среднем ряду вагона на кресле у прохода.

Список литературы

- 1 CEN. Railway applications – Ride comfort for passengers – Measurement and evaluation. EN 12299:2009, European Committee for Standardization, Brussels.
- 2 Suzuki, H. 2000. Psychophysical Evaluation of Railway Vibrational Discomfort on curved section / H. Suzuki; QR RTRI Tokyo. – Vol. 41. – 2000. – P. 106–111.
- 3 ISO 2631-1.2 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole body vibrations – Part 1: General requirements. ISO. Geneva.
- 4 Griffin, M. J. Handbook of Human Vibration / M. J. Griffin. – London : Academic Press, 1990. – 988 p.
- 5 Антипин, Д. Я. Оценка безопасности локомотивной бригады электропоезда при продольном аварийном соударении с препятствием / Д.Я. Антипин, В.В. Кобищанов, С.Г. Шорохов // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 3 (58). – С. 47–49.

УДК 629.423:621.331

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ В ТОЧКАХ ОБЩЕГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ

В. С. МОГИЛА, В. А. ЗАГОРЦЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Электрический подвижной состав (ЭПС) при работе в режиме рекуперативного торможения представляет собой однофазные генераторы электрической энергии, которая может быть использована потребителями, работающими в пределах тяговой сети. Для передачи рекуперативной энергии в цепи внешнего электроснабжения ее необходимо преобразовать в трехфазную. Качество энергии в точках общего присоединения трехфазных потребителей должно соответствовать требованиям ГОСТ 13109-95.

Естественными преобразователями однофазных напряжений и токов в трехфазные являются трансформаторы и некоторые другие устройства тяговых подстанций. Режимы преобразования напряжения при использовании системы электроснабжения 1х27,5 кВ и 2х25 кВ отличаются друг от друга и требуют самостоятельного рассмотрения.

Значение тяговой нагрузки носит случайный характер, и поэтому основные параметры качества энергии в точках общего присоединения: отклонения напряжения, несинусоидальность напряжения, несимметрия напряжения также – являются случайными величинами. Для определения параметров качества электрической энергии и ее статистических характеристик была разработана математическая модель совместной работы ЭПС и участка электрической железной дороги 1х27,5 кВ.

При построении математической модели приняты следующие допущения:
– тяговые трансформаторы представлены системой магнитосвязанных катушек, потери холостого хода в них не учитываются;

– источники питания системы внешнего электроснабжения представлены источниками ЭДС, внутреннее сопротивление которых определяется исходя из мощности короткого замыкания в точках общего присоединения;

– ЭПС как в режиме тяги, так и в режиме рекуперативного торможения приняты источниками тока;

– не учитываются нагрузки собственных нужд тяговой подстанции.

Для определения качества напряжения в местах общего присоединения с использованием разработанной математической модели были рассчитаны следующие параметры качества электроэнергии:

– токи нагрузки линий 110 кВ;

– значения фазных и линейных напряжений на первичной (110 кВ) и вторичной (27,5 кВ) обмотках тягового трансформатора;

– уровень напряжений на токоприемниках ЭПС, работающих в различных режимах (тяги и рекуперации);

– коэффициенты несимметрии напряжений по обратной последовательности в точках общего присоединения.

Расчет коэффициента несимметрии по обратной последовательности выполнялся при помощи выражения (1), предлагаемого из ГОСТ 13109-95:

$$k_{2U} = \frac{U_{2(i)}}{U_{1(i)}}, \quad (1)$$

где $U_{2(i)}$ – действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений в i -м наблюдении, В, определяется по формуле (2); $U_{1(i)}$ – действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты в i -м наблюдении, В, определяется по формуле (3).

$$U_{2(i)} = \sqrt{\frac{1}{12} \left(\left(\sqrt{3} U_{AB(i)} - \sqrt{4U_{BC(i)}^2 - \left(\frac{U_{BC(i)}^2 - U_{CA(i)}^2}{U_{AB(i)}} + U_{AB(i)} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{U_{BC(i)}^2 - U_{CA(i)}^2}{U_{AB(i)}} \right)^2 \right)}; \quad (2)$$

$$U_{1(i)} = \frac{U_{AB(i)} + U_{BC(i)} + U_{CA(i)}}{3}, \quad (3)$$

где $U_{AB(i)}$, $U_{BC(i)}$, $U_{CA(i)}$ – линейные напряжения на тяговом трансформаторе, В.

В ходе проведения расчетов с применением разработанной математической модели были получены следующие результаты:

– в режиме рекуперации при нагрузках близких к номинальным, напряжение на шинах тяговой подстанции 27,5 кВ превышает допустимые значения и может достигать $1,15 U_n$;

– в режиме рекуперации напряжение в контактной сети может превышать допустимые значения в 29 кВ и достигать значений свыше 31 кВ;

– коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности на шинах 110 кВ в некоторых режимах работы превышает 4,0 %, что больше предельно допустимых значений (регламентируемые ГОСТ 13109-95).

Анализ результатов расчетов позволяет сделать следующие выводы:

– работа электрического подвижного состава на участке как в режиме тяги, так и в режиме рекуперативного торможения в значительной степени влияет на качество электрической энергии в точках общего присоединения;

– наибольшие значения коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности на шинах 110 кВ наблюдались, когда на одной фидерной зоне тяговой подстанции ЭПС работал в режиме тяги, а на другой – в режиме рекуперативного торможения;

– качество напряжения в точках общего присоединения при работе на участке ЭПС в режимах тяги и рекуперации не удовлетворяют требованиям ГОСТ 13109-95.