

УДК 539.3

Ю. В. ВАСИЛЕВИЧ, доктор физико-математических наук, А. Т. КИРИЛЕНКО, В. В. НЕУМЕРЖИЦКИЙ, Е. Ю. НЕУМЕРЖИЦКАЯ, кандидат физико-математических наук, Белорусский национальный технический университет, Минск

## ВИБРОЗАЩИТА ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ МЕТРОПОЛИТЕНА

Исследованы деформационные, виброизолирующие и электроизоляционные характеристики бесшпального пути метрополитена на эластичных опорах (БПМЭО), вызванные подвижным составом метрополитена. БПМЭО может быть рекомендован для внедрения на Минском метрополитене с учетом устранения выявленных недостатков в конструкционном исполнении и технологии изготовления БПМЭО, используя европейский опыт внедренных виброизолирующих конструкций ВСП.

Объектом исследования являлся бесшпальный путь метрополитена на эластичных опорах (БПМЭО), сооруженный на перегоне между станциями «Малиновка» – «Петровщина» первого пути Минского метрополитена.

Цель работы – исследование деформационных, виброизолирующих и электроизоляционных характеристик БПМЭО на опытном участке пути, вызванных подвижным составом метрополитена.

В разработанной и внедренной конструкции БПМЭО использованы упругие элементы в узле скрепления рельса через эластичную опору с бетонным основанием в виде упругой прутковой клеммы, обеспечивающей оптимальный упругий прижим рельса к рельсовой подкладке. Прутковая клемма работает так же, как и противогонное устройство пути.

Конструкцию БПМЭО условно можно представить как единое устройство, состоящее из двух взаимосвязанных частей:

- ходовые рельсы с совокупностью необходимых жестких, упругих и эластичных элементов, скрепляющих их с бетонным основанием пути;
- контактный рельс с кронштейном и соответствующими деталями, предназначенными для эластичного скрепления с бетонным основанием.

В конструкцию узла скрепления ходовых рельсов входят: рельс Р50; прокладка под подошву рельса типа Р50 для метрополитенов; стальная подкладка; клемма пружинная; болт 22x50; шайба; пружина; втулка изолирующая с эксцентриком (полиэтилен низкого давления высокой плотности); прокладка под подкладку 400x140x3 мм; литая эластичная опора 400x140x30 мм, изготовленная из двухкомпонентного материала Icosit КС 340/7; два болта для скрепления подкладки через эластичную опору с бетоном.

Комплектация конструкции контактного рельса с кронштейном и деталями состоит из элементов: кронштейна с деталями крепления контактного рельса; контактного рельса; прокладки под кронштейн; стальной накладке 215x160x5 мм; литой эластичной опоры 200x350x30 мм, изготовленной из эластичного электроизолирующего материала Icosit КС 340/7; болта МН2; шайбы двухвитковой 27; гайки М24,5; эластичного изолирующего клея, предназначенного для скрепления болтов МН2 с путевым бетоном.

Для измерения уровней виброускорения рельса, лотка и боковой бетонной отделки тоннеля на виброизолированном участке БПМЭО и на участке (не виброизолированном) с типовым верхним строением пути были выбраны измерительные сечения (т.е. два поперечных сечения тоннеля). В каждом измерительном сечении регистрировались уровни виброускорения следующих компонент вибрации:

- вертикальные колебания рельса; однокоординатный датчик крепился в центре подошвы рельса для съема вертикальных колебаний (канал 3) рельса при прохождении подвижного состава;
- вертикальные колебания лотка тоннеля; однокоординатный датчик, канал 2 крепился к жестко закрепленной к путевому бетону металлической пластине, которая находилась рядом с эластичной опорой на БПМЭО и возле шпал на бетоне лотка невиброизолированного участка;
- горизонтальные поперечные колебания центра боковой бетонной отделки тоннеля, канал 1; датчик надежно крепился к бетонной отделке. Указанные горизонтальные колебания являются нежелательными при передаче колебаний фундаментам близко расположенных зданий в технической зоне метрополитена мелкого заложения.

Для измерения уровней виброускорения использованы виброметры, анализаторы спектра ЭКОФИЗИКА – 110 В, поверенные в установленном порядке.

Обработка полученной информации осуществлена на компьютере в октавных и 1/3-октавных полосах частот с использованием программы «Сигнал плюс», являющейся обязательным компонентом, входящим в состав комплекта измерительных приборов.

Нормируемыми параметрами вибрации являются среднеквадратичные значения виброускорения или их логарифмические уровни в дБ в диапазоне октавных и 1/3-октавных полос. Опорный уровень виброускорения  $a_0 = 10^{-6} \text{ м/с}^2$ . Среднеквадратичные значения виброускорения рассчитываются за период, равный установленному времени усреднения: 1 с, 5 с, 10 с. Выполненные расчеты среднеквадратичных значений виброускорения для указанных величин времени усреднения показали, что оптимальным периодом усреднения является 5 с. Это время было принято при определении среднеквадратичных значений виброускорения.

Эффективность виброизоляции рельса, лотка и центра боковой обделки тоннеля в обоих измерительных сечениях оценивалась как разность соответствующих уровней компонент виброускорения на виброизолированном и не виброизолированном участках.

Усредняя зарегистрированные во время измерений уровни виброускорения, получили, что в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63 Гц на виброизолированном участке пути усредненные максимальные уровни виброускорения соответственно равны:

– 80 дБ (31,5 Гц) и 90 дБ (63 Гц) для  $X$  – горизонтальной поперечной составляющей виброускорения центра боковой обделки тоннеля;

– 86 дБ (31,5 Гц) и 95 дБ (63 Гц) для  $Y$  – вертикальной составляющей виброускорения лотка тоннеля.

Усредняя уровни виброускорения зарегистрированные на не виброизолированном участке пути получили, что в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63 Гц усредненные максимальные уровни виброускорения соответственно равны:

– 83 дБ (31,5 Гц) и 98 дБ (63 Гц) для  $X$  – горизонтальной поперечной составляющей виброускорения центра боковой обделки тоннеля;

– 90 дБ (31,5 Гц) и 102 дБ (63 Гц) для  $Y$  – вертикальной составляющей виброускорения лотка тоннеля.

На основе сравнения усредненных значений уровней виброускорения лотка и боковой обделки тоннеля с не виброизолированным и виброизолированным (БПМЭО) участками пути следует вывод об эффективности виброизоляции пути и обделки тоннеля на БПМЭО вследствие того, что на характерных для тоннелей метрополитена мелкого заложения частотах 31,5 и 63 Гц достигнуто эффективное виброгашение:

– в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63 Гц значения виброускорения боковой обделки тоннеля на БПМЭО соответственно на 3 дБ и 8 дБ меньше аналогичных уровней на не виброизолированном участке;

– в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63 Гц значения виброускорения лотка на БПМЭО соответственно на 3,5 дБ и 7 дБ меньше аналогичных уровней на не виброизолированном участке.

Поскольку эффективность виброизоляции центра боковой обделки тоннеля и лотка (3 и 3,5 дБ, а также 8 и 7 дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63 Гц отличаются соответственно на 1 дБ, то можно дать единую количественную оценку эффективности виброизоляции лотка и боковой обделки тоннеля БПМЭО: на частоте 31,5 Гц уровень виброускорения лотка и боковой обделки тоннеля БПМЭО уменьшился на 3 дБ, а на частоте 63 Гц – на 7–8 дБ по сравнению с не виброизолированным участком пути.

Анализ полученных деформационных характеристик рельсов показал, что наибольшие осадки рельсов зафиксированы посередине между эластичными опорами БПМЭО; максимальный прогиб рельса равен 1,2 мм.

**Исследование электроизоляционных характеристик пути метрополитена на БПМЭО.** Большой ущерб сооружениям конструкций и устройствам метрополитена наносит электрокоррозия, или коррозия блуждающими токами. Блуждающий ток – это часть тягового тока, потребляемого подвижным составом, ответв-

ляющаяся с ходовой рельсовой сети в обделку, трубы, кабели, землю и т.п.

В основу выполненных исследований по изучению электроизоляционных характеристик на БПМЭО положены «Инструкция по защите сооружений, конструкций и устройств метрополитенов от коррозии блуждающими токами» и «Инструкция по текущему содержанию пути и контактного рельса Минского метрополитена».

Для совместного исследования электроизоляционных характеристик БПМЭО были приглашены специалисты-электрики службы электроснабжения Минского метрополитена. Методика выявления шпал с пониженным сопротивлением цепи описана в вышеупомянутой инструкции. Измерение сопротивления цепи осуществлено с использованием мегаомметра М-1101. Цепь сопротивления была проверена при ее замыкании по тракту: головка рельса – поверхность бетона лотка вблизи эластичной опоры. Первое и последующие испытания в других местах ВСП засвидетельствовали отсутствие короткого замыкания цепи. На мегаомметре было зафиксировано сопротивление со знаком «бесконечность». Был сделан вывод о полном электроизоляционном обеспечении БПМЭО, удовлетворяющем требуемым электроизоляционным свойствам узла крепления рельса с бетонным основанием. Конструкция БПМЭО не допускает утечки тока в бетон лотка и обделку тоннеля.

Ранее аналогичные исследования виброизоляционных свойств ВСП были выполнены НИИЛ «Акустика и специальные материалы» БНТУ на опытном участке Минского метрополитена с использованием виброизолированных рельсовых опорных блоков системы EBS. Приведем основные выводы исходя из полученных результатов исследования.

Исследования показали, что неудовлетворительное сопротивление цепи головка рельса – путевой бетон было выявлено на виброизолированных элементах системы EBS в следующих случаях:

– происходило замыкание цепи головка рельса – путевой бетон при наличии влаги на опорном рельсовом блоке, поверхности виброизоляционного материала, путевом бетоне;

– происходило аналогичное замыкание цепи, когда на поверхности бокового виброизоляционного материала находилось техническое масло; увлажненный строительный мусор в виде остатков бетона или цементного раствора; все это (чего не должно быть на поверхности виброизоляционного материала) при наличии влаги хорошо проводит электрический ток и вызывает электрокоррозию сооружений, конструкций и устройств метрополитена.

Измерения сопротивления цепи рельс – бетон лотка на других виброизолированных опорных рельсовых блоках системы EBS, лишенных отмеченных выше недостатков, показали, что сопротивление цепи равно 500 кОм, т.е. получен хороший положительный результат по решению проблемы борьбы с блуждающими токами.

На основании результатов выполненных исследований можно сделать следующие выводы по электроизоляционной безопасности и борьбе с блуждающими токами в метрополитене.

При соблюдении технических и технологических требований, предъявляемых к качеству изготовления виброизолированных технических систем, можно достичь положительного решения проблемы по борьбе с блуждающими токами и электрокоррозией сооружений, конструкций и устройств метрополитена.

При выполнении упомянутых требований и при внедрении виброизолированных систем ВСП в метрополитене необходимо не допускать попадания влаги на узел скрепления рельса с бетонным основанием, на поверхность бокового виброизолированного материала, путевой бетон. Указанное мероприятие обеспечит требуемую электроизоляцию узла скрепления рельса с путевым бетоном.

Поверхность виброизоляционного материала должна быть чистой от строительного мусора, случайных попаданий технического масла, остатков бетона и раствора.

Получено 28.04.2016

**Yu. V. Vasilevich, A. T. Kirilenko, V. V. Nevmerzhitskiy, E. Yu. Nevmerzhitskaya.** Vibroprotection of the superstructure of subway.

Abstract deformation, vibration insulation and electrical characteristics of the power supply ERI caused by rolling stock subway. ВРМЕО can be recommended for implementation in the Minsk metro considering eliminating the identified deficiencies in the design features the ВРМЕО and manufacturing technologies, using the European experience embedded antivibration constructions GSP.

Влажный строительный мусор является хорошим проводником тока и способствует проявлению негативного явления – электрокоррозии.

Виброизолированный участок пути с внедренной технической системой виброзащиты должен быть сухим и чистым, без остатков строительного мусора. Тогда будет обеспечена требуемая электробезопасность объектов и устройств метрополитена от блуждающих токов.

Конструкция БПМЭО не допускает утечки тока в бетон лотка и обделку тоннеля и может быть рекомендована для внедрения на Минском метрополитене с учетом устранения выявленных недостатков в конструкционном исполнении и технологии изготовления БПМЭО, используя европейский опыт внедренных виброизолирующих конструкций ВСП с частотами 31,5 и 63 Гц.