

Для оценки величины радиуса, обеспечивающего сцепляемость в других случаях расположения второй тележки относительно конца кривой, расстояние до нее следует прибавить к величине  $m$ . Так, например, если конец кривой расположен в створе с осью сцепления, то  $m = 2l + 2n - l_{кр}$ . Предельная величина радиуса круговой кривой тогда составит  $R = 68$  м.

Аналогичные аналитические зависимости можно получить для оценки условий проектирования кривых во втором варианте взаимодействия (см. рисунок 1, взаимодействие происходит со стороны тележки вагона, расположенной в кривой). Тогда эффективность взаимодействия обеспечивается при условии

$$R > \frac{4l \cdot l_{кр} - (2l - p)^2 + 0,25l_T^2}{4l(0,7 + n/B') - 2\lambda}$$

Используя исходные данные предыдущего расчета, получим:

$$R > \frac{2 \cdot 17000 \cdot 14160 - (17000 - 2840)^2 - 0,25 \cdot 1850^2}{2 \cdot 17000 / (0,7 + 3630/175) - 2 \cdot 26} = 182627 \text{ мм} \approx 183 \text{ м.}$$

При смещении вагона в сторону тележки, расположенной в прямой ( $m = 2l + 2n - l_{кр}$ ), допустимая величина радиуса составит  $R = 242$  м.

Учитывая, что эффективное взаимодействие в первом случае (со стороны прямой) обеспечивалось при радиусе  $R = 68 \dots 123$  м, можно сделать вывод о том, что условие взаимодействия во втором варианте (со стороны тележки, расположенной в кривой) создает более сложные условия сцепления ( $R = 183 \dots 242$  м) и может быть принято в качестве ограничивающего при оценке безопасности конструкции кривых малой длины (менее длины базы вагона).

Показанные выражения дополняют существующие методы расчета параметров кривых и позволяют повысить безопасность и эффективность перевозочного процесса на этапе проектирования путевого развития железнодорожных станций [1, 3, 4].

#### Список литературы

1 Филатов, Е. А. Комплексное обоснование параметров путевого развития железнодорожных станций и геометрических размеров подвижного состава / Е. А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. тр. ДНУЖТ им. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЖТ, 2018. – Вып. 16. – С. 93–101.

2 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ – ВНИИЖТ. – М., 1996. – 319 с.

3 Филатов, Е. А. Повышение безопасности функционирования железнодорожных станций / Е. А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. тр. ДНУЖТ, 2017. – Вып. 13. – С. 78–83.

4 Сцепляемость и проходимость вагонов в кривых малого радиуса и по горкам / под ред. Ю. А. Хапилова // Труды ВНИИЖТа. – Вып. 440. – М. : Транспорт, 1971. – 95 с.

УДК 625.151.2

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ С АВТОМАТИЧЕСКИМИ ЦЕПЯМИ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ

*Ю. Н. ХАРИТОНОВ, С. М. КОКИН*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Согласно определению Международной электротехнической комиссии, электромагнитная совместимость понимается, как ситуация, когда влияние друг на друга различных видов электроэнергетического и слаботочного электрооборудования не приводит к появлению недопустимых помех. Говоря об электромагнитной совместимости систем электрообогрева (ЭО) стрелочных переводов с рельсовыми цепями автоблокировки и цепями сигнализации, следует иметь в виду, что:

– падение напряжения на сопротивлении, соответствующем входному сопротивлению на питающих и релейных концах рельсовой линии, при включенной системе ЭО составляет 0,6 мВ, при выключенной – 0,8 мВ;

– в переходном режиме работы системы ЭО в момент включения нагревательного модуля происходит скачок напряжения до 0,7 мВ (при длительности переходного режима, не превышающей 0,5 с).

Указанные значения не изменяются при переходе от нормального режима работы рельсовой цепи к режиму её шунтирования колёсными парами подвижного состава. Но поскольку минимально допустимое напряжение на выходе рельсовой цепи любой нормы составляет 0,24 В, возникающие при работе системы ЭО помехи на два порядка меньше этого значения и поэтому не могут оказывать мешающего влияния на работу систем сигнализации и автоблокировки. Такой же уровень помех (не превышающий 0,7 мВ) сохраняется для всех гармонических составляющих выпрямленного тока, частоты которых для рельсовых цепей составляют 50, 425, 475, 575, 725 и 775 Гц, причём, чем выше кратность гармонической составляющей, тем меньше её амплитуда [1]. Это означает, что если обеспечивается электромагнитная совместимость для основной гармонической (50 Гц), то тем более она обеспечивается и для гармоник большей кратности.

На электрифицированных железных дорогах постоянного тока и метрополитенов широко используются системы автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) и автоматического регулирования скорости (АРС), отличительными признаками которых являются: частотный код шифрования передаваемой информации; использование немодулированного тока в рельсах; дешифрование принятых сигналов селективными приёмниками прямого сигнала.

В связи с этим возникают вопросы, связанные с возможным влиянием аппаратуры ЭО на работу данных систем. Важнейшей задачей устойчивой работы АЛС-АРС является отфильтровывание кодовых сигналов от гармонических составляющих тока в контактном рельсе. По этой причине передача кодовых сигналов осуществляется на частотах, отличающихся от гармонических составляющих тока в контактном рельсе. Все частоты, (кроме частоты 50 Гц), которые являются гармониками рельсовой цепи, приходятся на тот же диапазон частот, в котором находятся гармоники тягового тока. Возможное отклонение частоты генераторов в передающих устройствах АЛС-АРС не превышает  $\pm 1\%$  ( $0,5\%$  за счёт влияния температуры и  $0,5\%$  за счёт настройки в процессе их изготовления). При достигнутом в настоящее время уровне стабилизации промышленной частоты 50 Гц, (равной  $\pm 1\%$ ) совокупные отклонения составляют  $\pm 2\%$ ; именно поэтому граничная полоса частоты пропускания фильтров не должна отличаться от номинальной частоты более чем на  $\pm 2\%$ .

С повышением частоты передаваемого сигнала возможная частота гармоники тягового тока приближается к границе полосы пропускания фильтра и из-за этого не рекомендуется использовать частоты в диапазоне от 750 Гц и выше при применении в качестве дешифраторов селективных приёмников прямого приёма кодовых сигналов. В диапазоне с частотами менее 750 Гц приёмные устройства тем надёжнее отличают кодовые сигналы от гармоник тягового тока, чем ниже эта частота. В этот диапазон попадают три гармоники, на которых работают рельсовые цепи системы АСЦБ. В связи с этим в технических указаниях по монтажу, эксплуатации и обслуживанию системы ЭО стрелочных переводов должны быть указаны дополнительные требования по выявлению возможных помех работе систем АЛС-АРС, оказываемых токами нагревательных модулей (НМ), установленных непосредственно на рельсах. Так, например, в метрополитене уровень этих помех в первом приближении не должен превышать изменения средних значений ЭДС взаимной индукции, наводимой в приёмных катушках ПК1 и ПК2 (рисунок 1) с учетом возможного смещения катушек относительно центра рельсов из-за изменения диаметра колёс при их износе.

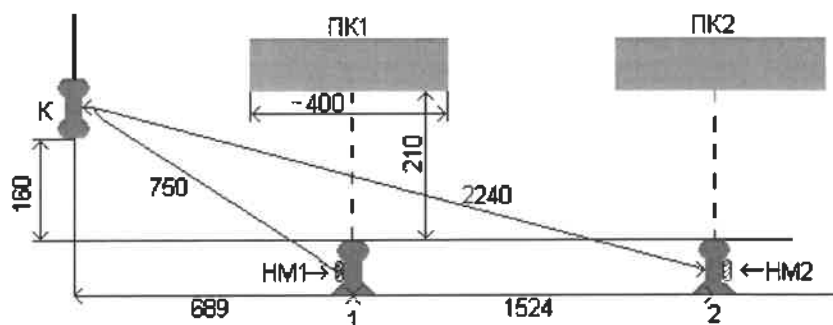


Рисунок 1 – Схема взаимного расположения контактного рельса (К), ходовых рельсов (1, 2) и расположенных на них нагревательных модулей (НМ) системы электрообогрева (ЭО) стрелочных переводов на открытом участке метрополитена

Средние значения ЭДС взаимной индукции, возникающей в приёмных катушках, рассчитывается по формуле

$$E_{1,2} = 2nM_{1,2}I_f$$

где  $f$  – частота гармоники тягового тока,  $I_f$  – ток в контактном рельсе при данной частоте,  $M_{1,2}$  – коэффициент взаимной индуктивности между рельсом и расположенным над ним приёмной катушкой с учётом влияния нагревательного модуля, размещённого на рельсе. Полученные результаты по оценке электросовместимости с системами АЛС-АРС были нами использованы при разработке модульной системы электрообогрева стрелочных переводов, успешно работающей на ряде открытых участков московского метрополитена [2].

#### Список литературы

1 Бадёр, М. П. Электромагнитная совместимость / М. П. Бадёр. – М. : УМК МПС, 2002. – 638 с.

2 Харитонов, Ю. Н. Модульная система электрообогрева стрелочных переводов рельсового транспорта / Ю. Н. Харитонов / Безопасность движения поездов : сб. трудов XVIII науч.-практ. конф., 16–17 ноября 2016, Москва. – М. : МИИТ, 2016 – С. 11–107.

УДК 625.151.2

### ОБ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ ОБУСТРОЙСТВЕ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ, ОБОРУДОВАННЫХ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

*Ю. Н. ХАРИТОНОВ, С. М. КОКИН, В. А. НИКИТЕНКО*  
*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Разработанная в РУТ (МИИТ) на кафедре «Физика» [1, 2] система электрообогрева (ЭО) с профильными нагревательными модулями (НМ) для стрелочных переводов рельсового транспорта за время эксплуатации на ряде открытых участков Московского метрополитена получила практическое подтверждение своей энергетической эффективности и эксплуатационной надёжности. Эффективность и надёжность могут оцениваться, в частности, по объёму работ, связанных с монтажом, эксплуатацией и обслуживанием оборудования.

Согласно техническим указаниям, система ЭО отнесена к электроприёмникам третьей категории. Для её электропитания используется одна из фаз трёхфазного переменного тока напряжением 220 В с максимальной потребляемой мощностью 5 кВт. В соответствии с этим на одном стрелочном переводе устанавливается 18 нагревательных модулей мощностью 0,15 кВт (по 9 штук на шейках внешних сторон обоих рельсов). Возможно также подключение системы ЭО к выпрямителю, работающему по схеме двухполупериодного выпрямления со сглаживающим фильтром. Щит управления располагается непосредственно в зоне стрелочного перевода, там, где уже имеется подводка питания механизма перевода острия стрелки.

Коммутация нагревательных модулей системы выполнена по схеме параллельного подключения посредством кабеля с двойным бронированием, сечение жил которого выбрано из расчётного значения силы тока. Провода, соединяющие каждый НМ с питающим кабелем, имеют практически одинаковое сопротивление, так что общее сопротивление всей схемы ЭО, содержащей  $n$  модулей, равно  $R_{\text{пар}} = R_i/n$  (здесь  $R_i$  – сопротивление одного модуля).

В практике российских железных дорог для обогрева часто используются трубчатые электронагреватели, которые обычно соединяют последовательно (по три, длиной  $L = 3,35$  м, или по два, длиной  $L = 5,6$  м, мощностью по 1,6 кВт). Однако при последовательном соединении нагревательных модулей (в этом случае общее сопротивление  $R_{\text{пос}} = nR_i$ ) выделяемое нагревателями тепло  $Q_{\text{пос}}$  меньше, чем при параллельном  $Q_{\text{пар}}$ . Действительно, при напряжении питания  $U$  за время  $\Delta t$

$$Q_{\text{пар}} = U^2 / R_{\text{пар}} \cdot \Delta t = nU^2 / R_i \cdot \Delta t, \quad Q_{\text{пос}} = U^2 / R_{\text{пос}} \cdot \Delta t = U^2 / (nR_i) \cdot \Delta t,$$

то есть

$$Q_{\text{пар}} / Q_{\text{пос}} = n^2.$$