

К ВОПРОСУ О ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОМЕХ В КАНАЛЕ ИНДУКТИВНОЙ СВЯЗИ НА МЕТРОПОЛИТЕНЕ ЗА СЧЕТ АСИММЕТРИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ КОНТАКТНОГО РЕЛЬСА



В.С. Кузьмин



А.К. Табунщикова

В статье рассмотрено влияние на работу бортовой аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене взаимного геометрического положения контактного и ходовых рельсов. Описана модель для расчета коэффициента асимметрии на входе локомотивного приемника. Приведены результаты моделирования для однопутного тоннеля метрополитена.

Ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, метрополитен, асимметрия, линия индуктивной связи, контактный рельс

EDN: CQXEID

Изменение электромагнитной обстановки на магистральных железных дорогах, связанное с внедрением современного электрического подвижного состава, заставило по-новому взглянуть на причины сбоев в работе устройств безопасности [1;2]. Разработан ряд математических моделей [3;4], описывающих индуктивную связь приемных катушек с рельсовой линией и технических решений [5–7], направленных на снижение влияния аддитивных помех, вызванных асимметрией тягового тока в канале «путь—локомотив» в системах регулирования движения поездов на сети железных дорог ОАО «РЖД». Кроме того, на основе сформулированных направлений работ по

снижению числа сбоев в работе устройств безопасности [8], были проведены исследования, результатами которых стало совершенствование нормативной и технической документации по обслуживанию устройств безопасности [9].

При этом, за исключением разве что [10], в отечественной литературе практически отсутствуют работы, посвященные вопросам анализа электромагнитной обстановки, характерной для условий эксплуатации каналов «путь—локомотив» на метрополитенах. Отсутствуют работы, посвященные вопросам влияния геометрического положения контактного рельса на работу бортовой аппаратуры автоматиче-

Кузьмин Владислав Сергеевич, ассистент, аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследование и разработка технических и организационных мер для повышения качества технического обслуживания и ремонта локомотивных устройств безопасности. Автор 43 научных работ. Имеет 20 патентов на изобретения.

Табунщикова Александр Константинович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследование и разработка элементов индуктивной связи систем регулирования движения поездов. Автор 67 научных работ. Имеет 61 патент на изобретения.

Рядчиков Руслан Олегович, студент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследование каналов связи систем регулирования движения поездов. Автор одной научной работы.

ской локомотивной сигнализации на метрополитене, т.е. асимметрии в канале автоматической локомотивной сигнализации.

В соответствии с этим цель настоящей работы — определение степени влияния асимметрии в канале автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене, возникающей в связи с геометрическим положением контактного рельса. Объект исследования — функционирование системы автоматической локомотивной сигнализации с индуктивным каналом передачи информации на метрополитене. Предмет исследования — асимметрия в канале автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене. В рамках работы ставится задача разработать модель для описания влияния геометрического положения точки пересечения осей приемных катушек и асимметрии в линии индуктивной связи на коэффициент асимметрии на входе локомотивного приемника для однопутных участков метрополитенов и проанализировать результаты, полученные с ее помощью.

Следует отметить, что при разработке модели необходимо учитывать данные о геометрических размерах ходовых железнодорожных рельсов [11], контактного рельса, а также данные о расположении контактного рельса относительно ходовых рельсов [12]. Также необходимо учитывать сведения о местоположении в пространстве центров силовых магнитных линий, формируемых вокруг ходовых рельсов и контактного рельса при протекании по ним электрического тока. Для ходовых рельсов в зависимости от их типов такой размер далее принимался равным высоте прокладки испытательного шлейфа, формирующего электромагнитное поле, эквивалентное рельсовой нити, согласно действующим нормативным документам [13].

Разработка модели

Разрабатываемая модель должна будет описывать зависимость коэффициента асимметрии K_{AC} на входе локомотивного приемника. Модель предназначается для оценки влияния геометрического положения контактного рельса на коэффициент асимметрии на входе локомотивного приемника. В разрабатываемой модели присутствуют следующие элементы: первый ходовой рельс; второй ходовой рельс; третий контактный рельс; первая приемная катушка, расположенная над первым ходовым рельсом; вторая приемная катушка, расположенная над вторым ходовым рельсом. Будем полагать, что первый ходовой рельс расположен дальше от третьего контактного рельса, чем второй ходовой рельс.

На первом этапе построения модели определим перечень параметров модели. К параметрам модели относятся:

- высота подвеса относительно уровня головки первого ходового рельса (точнее проекция на ось первого ходового рельса расстояния от уровня его головки до точки пересечения осей первой приемной катушки) h_1 ;

- разность высот подвеса первой и второй приемных катушек Δh ;

- расстояние от оси соответствующего ходового рельса до точки пересечения осей соответствующей приемной катушки (для первой $l_{1,1}$ и второй $l_{2,2}$ приемных катушек);

- величина асимметрии токов помех в рельсовой линии K_{RL} с учетом номера ходового рельса, величина тока в котором больше;

- сумма токов, протекающих в первом и втором ходовых рельсах, равная силе тока, протекающего в контактном рельсе I_3 ;

- направления токов в ходовых и контактном рельсах;

- разность высот уровней головки первого и второго рельсов $h_{1,2}^e$;

- тип рельса (P50, P65, P75 и др.);

- расстояние для данного типа рельса между уровнем головки рельса и центром силовых магнитных линий, формируемых вокруг данного рельса протекающим по нему током h_m ;

- высота относительно уровня головки одного из ходовых рельсов центра силовых магнитных линий, формируемых током вокруг контактного рельса $h_{1,3}^e$;

- расстояние между осями ходовых рельсов $l_{2,1}^l$;

- расстояние между осью первого ходового рельса и осью контактного рельса $l_{3,1}^l$;

- площадь сечения рамки, образованной одним витком k -й приемной катушки S_k ;

- магнитная проницаемость материала сердечника k -й приемной катушки μ_k ;

- число витков k -й приемной катушки n_k .

При построении модели воспользуемся следующими допущениями.

1. Ходовые и контактный рельсы будем считать тонкими бесконечно длинными прямолинейными проводниками с током.

2. Бесконечно длинные тонкие проводники, имитирующие ходовые рельсы, расположим на осях соответствующих ходовых рельсов на расстоянии h_m ниже уровня их головок, что соответствует центрам силовых магнитных линий рельсов.

3. Бесконечно длинный тонкий проводник, имитирующий контактный рельс, расположим на оси контактного рельса в точке — центре силовых магнитных линий, формируемых вокруг контактного рельса.

4. При построении модели будем полагать, что соответствующие несущественные параметры для первой и второй приемных катушек одинаковы.

Для того, чтобы понять взаимное соотношение между существенными геометрическими параметрами, рассмотрим схему, приведенную на рис. 1.

Центры силовых магнитных линий первого, второго и третьего рельсов, а также точки пересечения осей первой и второй приемных катушек показаны точками. При этом параметры $l_{1,1}$ и $l_{2,2}$ далее будем принимать положительными при смещении точки пересечения осей приемной катушки от соответствующей оси ходового рельса в сторону контактного рельса и отрицательными в противоположную сторону. Параметр $h_{1,2}^e$ будем принимать положительным в случае, когда УГР2 оказывается выше УГР1 и отрицательным в противоположной ситуации. Параметр Δh будем принимать положительным в случае, когда точка пересечения осей второй приемной катушки окажется выше точки пересечения осей первой приемной катушки и отрицательным в противоположной ситуации.

На втором этапе сформулируем в общем виде необходимые аналитические выражения. Воспользовавшись законом Био-Савара-Лапласа в отношении бесконечно длинного прямолинейного тонкого проводника r с током и k -й приемной катушки, расположенной на расстоянии $A_{r,k}$ от центра силовых магнитных линий проводника r с током, и формулой для расчета пото-

ко сцепления однородного поля через плоскую поверхность, где $\alpha_{r,k}$ – угол между нормалью рамки, образованной одним витком приемной катушки и вектором индукции магнитного поля, опишем потокосцепление приемной катушки k с рельсом r (1):

$$\Psi_{r,k} = n_k \frac{\mu_0 I_r}{2\pi A_{r,k}} S_k \cos \alpha_{r,k}. \quad (1)$$

Учитывая, что габариты приемной катушки, число витков, геометрическое положение приемной катушки относительно любого из проводников неизменно, величину ЭДС, наведенную от тока рельса r в приемной катушке k можно вычислить по формуле (2):

$$E_{r,k}(t) = -n_k \cdot \frac{\mu_0 S_k \cos \alpha_{r,k}}{2\pi A_{r,k}} \cdot \frac{dI_r(t)}{dt}. \quad (2)$$

После незначительных преобразований, полагая, что ток описывается синусоидальной функцией с круговой частотой ω , нулевой начальной фазой и амплитудным значением I_r^{MAX} , получим выражение (3):

$$E_{r,k}^{\text{MAX}} = -\omega \cdot \frac{\mu_0 n_k S_k \cos \alpha_{r,k}}{2\pi A_{r,k}} \cdot I_r^{\text{MAX}}. \quad (3)$$

Коэффициент асимметрии на входе локомотивного приемника может быть выражен в форме (4):

$$K_{AC} = \frac{|E_{\text{MAX}}^1 - E_{\text{MAX}}^2|}{E_{\text{MAX}}^1 - E_{\text{MAX}}^2} 100\%, \quad (4)$$

где E_{MAX}^i – суммарная ЭДС, наведенная в i -й прием-

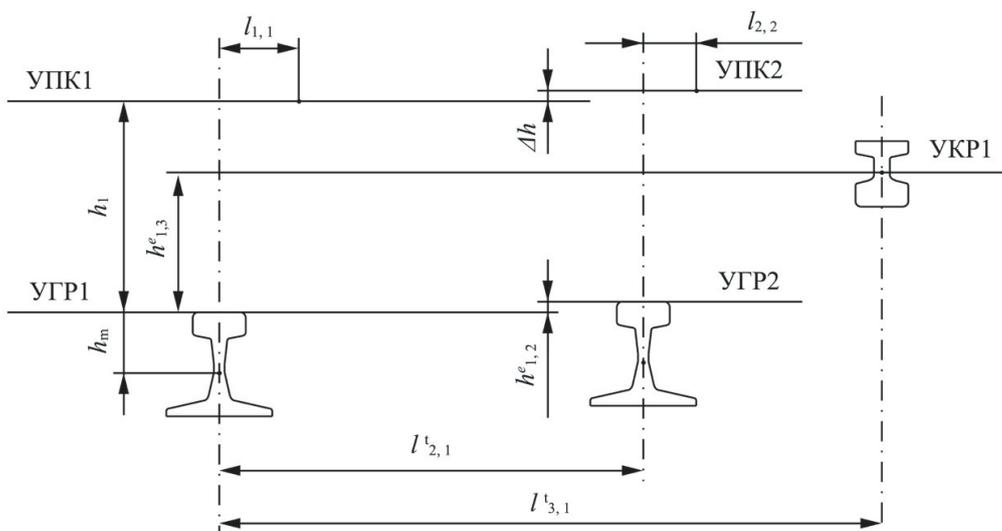


Рис. 1. Существенные геометрические параметры: УГР1 – уровень головки первого ходового рельса; УГР2 – уровень головки второго ходового рельса; УКР1 – уровень центра силовых магнитных линий третьего контактного рельса; УПК1 – уровень первой приемной катушки; УПК2 – уровень второй приемной катушки

ной катушке от всех источников сигналов и помех. В дальнейших рассуждениях можно перейти от амплитудных значений к действующим, тогда полученные результаты будут представлены в более удобной для анализа форме. После подстановки (3) в (4), учитывая дополнительное допущение 4 и необходимость учета направлений токов, которое можно реализовать за счет умножения величины тока на советующий коэффициент k_r , который принимает значение, равное 1, если ток направлен от наблюдателя (см. рис. 1), и -1 , если ток направлен к наблюдателю, коэффициент асимметрии можно записать в виде (5):

$$K_{AC} = \frac{\sum_{r=1}^N I_r \cdot \left[\frac{k_r \cos \alpha_{r,1}}{A_{r,1}} - \frac{k_r \cos \alpha_{r,2}}{A_{r,2}} \right]}{\sum_{r=1}^N \sum_{k=1}^2 \left[\frac{I_{r,k} k_r \alpha_{r,k}}{A_{r,k}} \right]} \quad (5)$$

Как мы видим, все собственные параметры приемных катушек были исключены из рассмотрения. Проанализируем более подробно геометрическое положение точки пересечения осей приемной катушки и центра силовых магнитных линий ходовых рельсов (рис. 2,а) или центра силовых магнитных линий контактного рельса (рис. 2,б).

В зависимости от направления тока в ходовом рельсе возможно два варианта угла между нормалью витка приемной катушки и вектором индукции магнитного поля соответствующего рельса, в частности

для первого ходового рельса: $\alpha_{1,1}$ и $\alpha'_{1,1}$. В соответствии с формулами приведения $\cos \alpha_{1,1} = -\cos \alpha'_{1,1}$. Для учета этого знака авторами ранее уже введен коэффициент k_r .

Если рассматривать ходовой рельс, то угол $\alpha_{1,1}$ равен углу, образованному ОП1 и линией, соединяющей центры силовых магнитных линий ходового рельса и точки пересечения осей приемной катушки. Доказательство этого может быть построено исходя из положений о том, что сумма острых углов в прямоугольном треугольнике равна 90 градусам, а развернутый угол (на линии УПК1) равен 180 градусам. В соответствии с определением косинуса угла получим итоговое выражение, описывающее зависимость коэффициента асимметрии на входе локомотивного приемника для выбранных существенных параметров (6):

$$K_{AC} = \frac{\sum_{r=1}^N I_r \cdot \left[\frac{k_r h_{r,1}}{h_{r,k}^2 + l_{r,k}^2} - \frac{k_r h_{r,2}}{h_{r,k}^2 + l_{r,k}^2} \right]}{\sum_{r=1}^N \sum_{k=1}^2 \left[\frac{I_{r,k} k_r h_{r,k}}{h_{r,k}^2 + l_{r,k}^2} \right]} \quad (6)$$

Для завершения построения модели, исходя из анализа схемы, приведенной на рис. 1, составим выражения, описывающие величины $h_{r,k}$, $l_{r,k}$.

Для первой приемной катушки справедливы выражения (7) и (8):

$$h_{r,1} = \begin{cases} h_1 + h_2, & \text{если } r = 1, \\ h_1 + h_2 - h_{1,1}^e, & \text{если } r > 1; \end{cases} \quad (7)$$

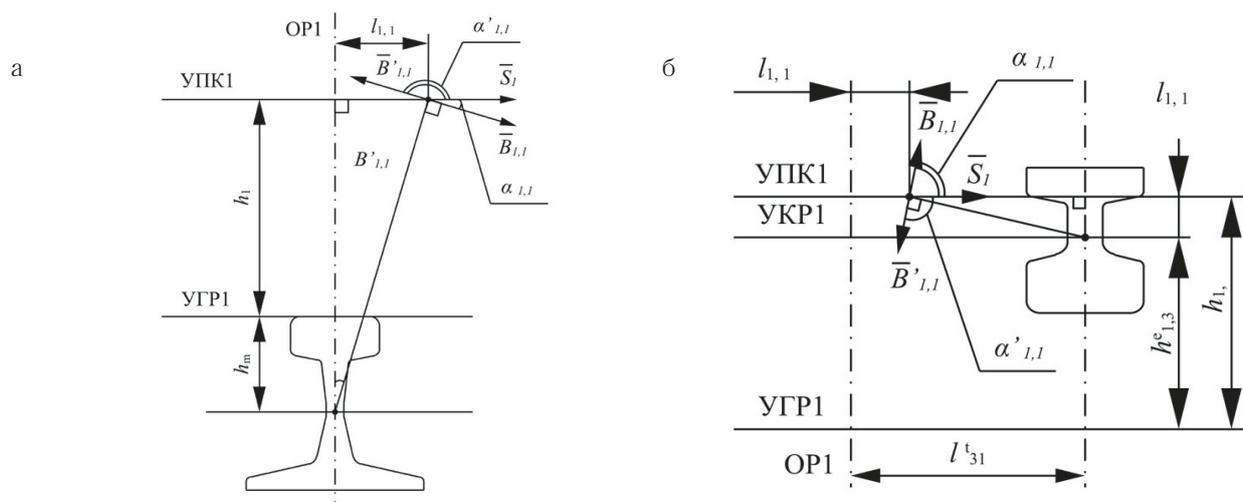


Рис. 2. Определение косинуса угла между нормалью витка приемной катушки и вектором индукции магнитного поля: а–для ходовых рельсов; б–для контактного рельса; ОП1 – ось первого ходового рельса. Остальные обозначения см. на рис. 1.

$$I_{r,1} = \begin{cases} l_{1,1}, & \text{если } r=1, \\ l'_{r,1} - l_{1,1}, & \text{если } r>1. \end{cases} \quad (8) \quad N=3. \quad (13)$$

Для второй приемной катушки справедливы выражения (9) и (10):

$$h_{r,1} = \begin{cases} h_1 + h_m + \Delta h, & \text{если } r=1, \\ h_1 + h_m + \Delta h - h_{r,2}^e, & \text{если } r>1; \end{cases} \quad (9)$$

$$I_{r,2} = \begin{cases} l'_{r,2} + l_{2,2}, & \text{если } r=2, \\ l'_{r,2} - l_{2,2}, & \text{если } r>2. \end{cases} \quad (10)$$

Токи в рельсах определяются в соответствии с выражениями (11) и (12):

$$I_1 = \frac{I_3 \left(1 - \frac{K_{RL}}{100}\right)}{2}, \quad (11)$$

$$I_2 = \frac{I_3 \left(1 + \frac{K_{RL}}{100}\right)}{2}. \quad (12)$$

Для удобства будем полагать, что коэффициент асимметрии K_{RL} – положительная величина, если ток во втором ходовом рельсе больше, чем в первом и отрицательная в обратном случае. Еще одним важным замечанием будем считать выражение (13), так как оно определяет верхнюю границу для определения суммы по числу рельсов:

Уравнения (6)–(13) следует поставить под знак системы. На этом построение аналитической модели со свойствами, отвечающими поставленной задаче, можно считать оконченной.

Зависимость коэффициента асимметрии на входе локомотивного приемника от различных факторов

Для оценки влияния асимметрии в канале «путь – локомотив» на метрополитене наибольший интерес будут представлять следующие зависимости коэффициента асимметрии от различных аргументов:

- высоты подвеса первой приемной катушки h_1 при различных Δh и совпадающих направлениях тока во всех трех рельсах (рис. 3);
 - высоты подвеса первой приемной катушки h_1 при различных Δh и направлении тока в третьем контактном рельсе, противоположном направлению токов в ходовых рельсах (рис. 4);
 - разности высот Δh подвеса приемных катушек при заданной высоте первой приемной катушки (рис. 5);
 - величины коэффициента асимметрии в рельсовой линии K_{RL} при заданной высоте подвеса первой приемной катушки h_1 и различных Δh (рис. 6).
- Проанализируем полученные графики. При равенстве $\Delta h=0$ коэффициент асимметрии $K_{AC}=0$ при

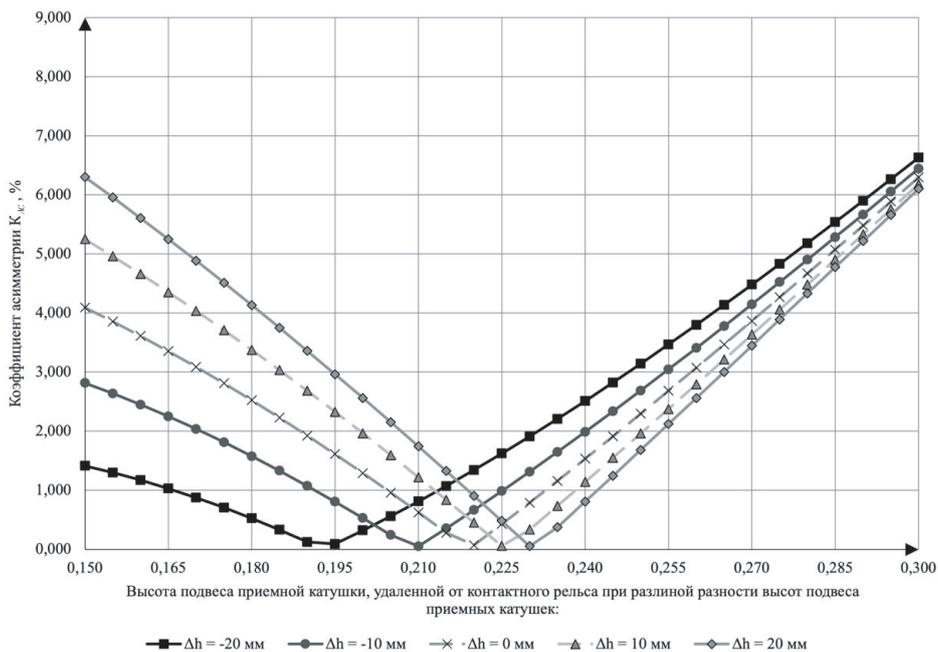


Рис. 3. Зависимость $K_{ас}$ от высоты подвеса первой приемной катушки при различных величинах Δh и совпадающих направлениях тока во всех трех рельсах

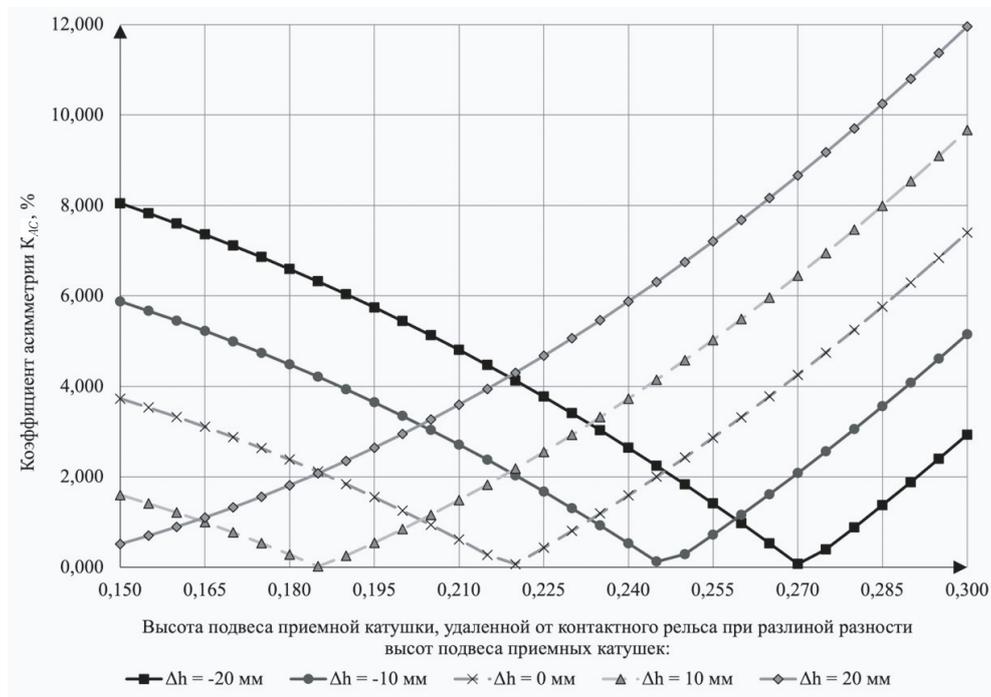


Рис. 4. Зависимость $K_{ас}$ от высоты подвеса первой приемной катушки при различных величинах Δh и направлении тока в третьем контактном рельсе, противоположном направлению токов в ходовых рельсах

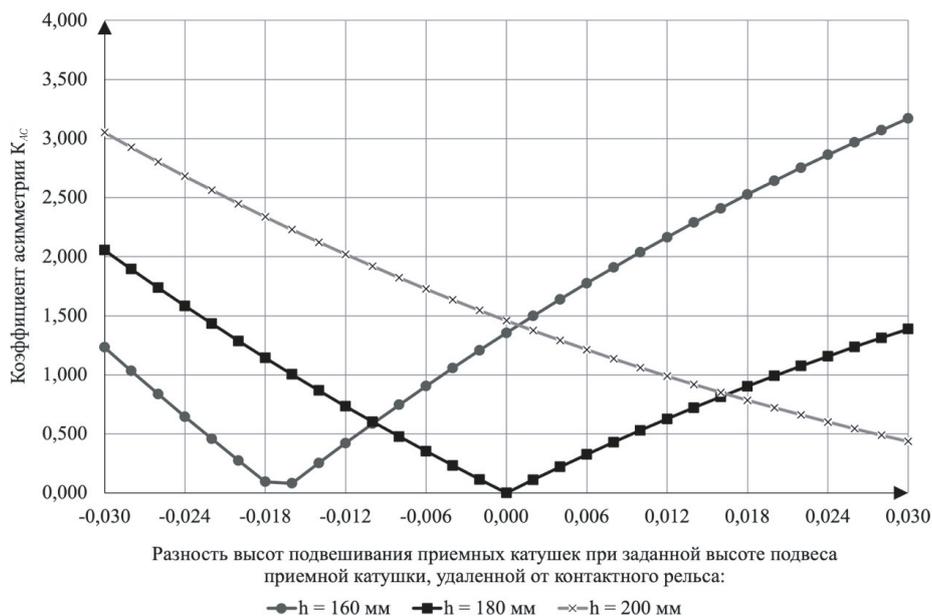


Рис. 5. Зависимость $K_{ас}$ от разности высот Δh подвеса приемных катушек при заданной высоте первой приемной катушки

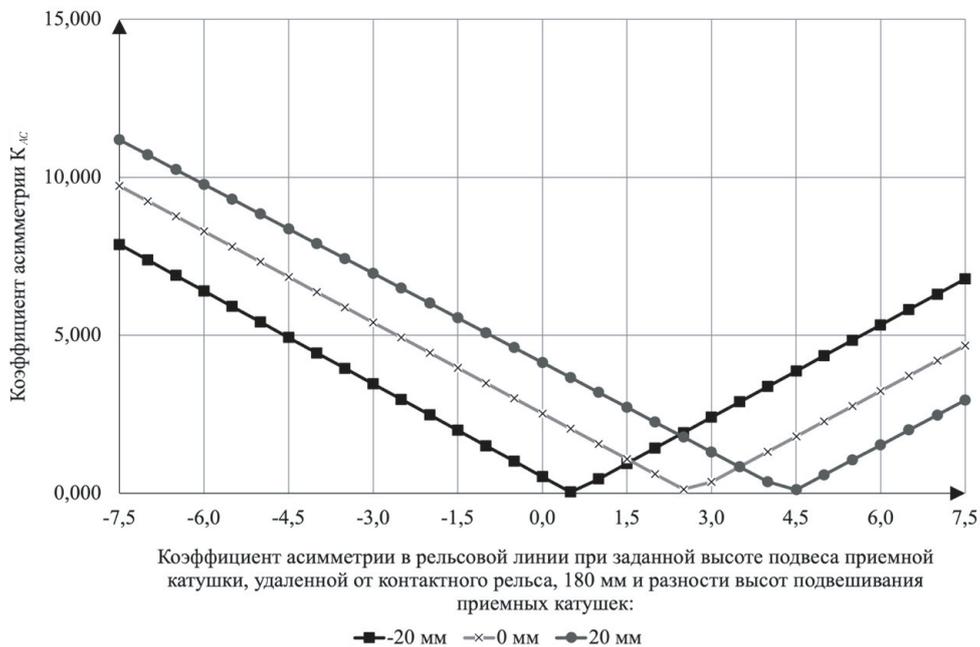


Рис. 6. Зависимость K_{AC} от коэффициента асимметрии в рельсовой линии K_{RL}

высоте подвеса первой приемной катушки, равной $h_{1,3}^e$ (см. рис. 3,4). Очевидно, что числитель равен нулю в указанном случае по причине того, что косинус угла между нормалью одиночного витка приемной катушки и вектором индукции магнитного поля равен 1. В остальных случаях, если пренебречь величиной ЭДС, наведенной в каждой из катушек от соседнего ходового рельса, можно считать, что коэффициент асимметрии $K_{AC}=0$ при условии (14):

$$\left| \frac{I_1 k_1 h_{r,1}}{h_{r,k}^2 + l_{r,k}^2} - \frac{I_2 k_2 h_{r,2}}{h_{r,2}^2 + l_{r,2}^2} \right| = I_3 k_3 \left(\frac{h_{3,1}}{h_{3,1}^2 + l_{3,1}^2} - \frac{h_{3,2}}{h_{3,2}^2 + l_{3,2}^2} \right). \quad (14)$$

Полученные данные согласуются с тем, что приемные катушки систем регулирования движения поездов на метрополитене принято располагать на высоте 180 мм относительно уровня головки рельса [14]. При отсутствии асимметрии в рельсовой линии, одинаковом износе поверхности катания колес первой тележки и совпадении параметров приемных катушек (заметим, что указанные условия редко выполняются на практике) действительно может быть достигнуто равенство вида $K_{AC}=0$.

Различие картины для K_{AC} на рис. 3,4 объясняется тем, что при отличии направления протекания тока по

третьему контактному рельсу от направления токов в первом и втором ходовых рельсах величины ЭДС, наведенных в приемных катушках, при высоте подвеса меньшей высоты размещения центра силовых магнитных линий третьего контактного рельса увеличиваются, а при высоте подвеса большей высоты размещения центра силовых магнитных линий третьего контактного рельса — уменьшаются. А так как в знаменателе коэффициента асимметрии K_{AC} берется алгебраическая сумма, а в числителе модуль разности (который будет одинаков в обоих случаях), то знаменатель в этом случае будет меньше знаменателя при совпадении направлений токов во всех рельсах. Таким образом, суммарная ЭДС, наведенная в приемных катушках от всех источников при отличии направления протекания тока по третьему контактному рельсу от направления токов в первом и втором ходовых рельсах, будет меньше, а коэффициент асимметрии — больше.

Незначительная разность высот (см. рис. 5, до 30 мм), подвеса приемных катушек даже при неизменной высоте подвеса первой приемной катушке, равной высоте расположения центра силовых магнитных линий контактного рельса, приводит к асимметрии до 3%. Таким образом, при неодинаковом стачивании профилей колес колесных пар первой тележки (например, при преобладании левых или правых кри-

вых) возможно возникновение ситуаций, приводящих к увеличению асимметрии на входе локомотивного приемника.

Что же касается наличия одновременно асимметрии, вызванной геометрическим положением контактного рельса и асимметрией в рельсовой линии (см. рис. 6), то при незначительной разности высот подвеса (всего 20 мм) возможно возникновение величины асимметрии на входе локомотивного приемника в пять и более процентов. При этом наихудшим является асимметрия в рельсовой линии, при которой ток в первом ходовом рельсе указывается больше, чем ток во втором ходовом рельсе. Условие равенства коэффициента асимметрии на входе локомотивного приемника нулю по (14) в данном случае оказывается неприменимым.

Заключение

На основе проведенного исследования представляется возможным сформулировать следующие основные выводы.

1. Существующие подходы к аналитическому описанию индуктивной связи между приемной катушкой систем автоматической локомотивной сигнализации

с ходовыми рельсами и другими проводниками, размещаемыми вдоль пути, не могут быть применены к описанию канала индуктивной связи систем автоматической локомотивной сигнализации на метрополитенах без существенной адаптации.

2. Разработана модель, обеспечивающая анализ асимметрии в канале автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене. Полученные в ходе моделирования результаты подтверждают правильность выбора высоты подвеса приемных катушек, обеспечивающей компенсацию асимметрии в канале автоматической локомотивной сигнализации, вызванной геометрическим положением контактного рельса.

Анализ результатов исследования показал, что разность высот подвеса приемных катушек всего 20 мм приводит к асимметрии на входе локомотивного приемника, эквивалентной асимметрии тягового тока в пять процентов.

Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем как для совершенствования приемной аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации на метрополитенах, так и при разработке методов и технических средств ее обслуживания и ремонта в условиях депо. 

Литература

1. Лисенков, В.М. Методы анализа и синтеза рельсовых цепей (статистический подход). — Москва: ВИНТИ РАН, 2014. — 222 с. — С. 218–219. — ISBN 978-5-902928-52-2. — Текст: непосредственный.
2. Бестемьянов, П.Ф. Исследование электромагнитной обстановки на электрифицированных участках железных дорог / П.Ф. Бестемьянов, Ю.А. Кравцов, В.И. Шаманов. — Текст: непосредственный // Электротехника. — 2019. — №9. — С. 3–7.
3. Шаманов, В.И. Индуктивная связь локомотивных катушек АЛСН с рельсовыми линиями / В.И. Шаманов. — Текст: непосредственный // Автоматика, связь, информатика. — 2011. — №11. — С. 2–5.
4. Бородин, А.В. Улучшать качество ремонта и обслуживания приемных катушек / А.В. Бородин, С.А. Овсянников, В.В. Косьяненко. — Текст: непосредственный // Локомотив. — 2021. — №12(780). — С. 15–17.
5. Патент №2652676 Российская Федерация, МПК В61L 25/06 (2006.01). Устройство автоматической локомотивной сигнализации с интегрированием принимаемых сигналов: № 2017107858: заявл. 10.03.2017: опубл. 28.04.2018 / Табунщиков А.К., Кузьмин В.С., Стряпкин Л.И.; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II» МГУПС (МИИТ). — 7 с. — Текст: непосредственный.
6. Патент №202178 Российская Федерация, МПК В61L 25/06, В61L 3/16 (2006.01). Устройство для снижения числа сбоев в работе автоматической локомотивной сигнализации: №2020132953: заявл. 06.10.2020: опубл. 05.02.2021 / Кузьмин В.С.; Кузьмин Владислав Сергеевич. — 11 с. — Текст: непосредственный.
7. Патент №94944 Российская Федерация, МПК В61L 25/06 (2006.01). Локомотивный приемник сигналов автоматической локомотивной сигнализации для участков с электротягой переменного тока: №2009143604: заявл. 26.11.2009: опубл. 10.06.2010 / Шаманов В.И.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ). — 6 с. — Текст: непосредственный.

8. Табунщиков, А.К. Новые принципы и направления работ по повышению помехоустойчивости АЛСН / А.К. Табунщиков, Ю.А. Барышев, С.М. Якимов. – Текст: непосредственный // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году науки: в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникации Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2017. – С. 201–202.
9. Заколесник, В.В. Как улучшить работу контрольных пунктов АЛСН / В.В. Заколесник, П.М. Меркулов, В.С. Кузьмин. – Текст: непосредственный // Локомотив. – 2019. – № 10 (754). – С. 9–10.
10. Бадер, М.П. Электромагнитная совместимость тягового электроснабжения с линиями связи, устройствами железнодорожной автоматики и питающими электросетями: специальность 05.22.09: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Бадер Михаил Петрович. – Москва, 1999. – 475 с. – Текст: непосредственный.
11. ГОСТ Р 51685-2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия = Railway rails. General specifications: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 октября 2013 г. № 1155-ст: взамен ГОСТ Р 51685-2000 : дата введения 2014-07-01 / Разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ОАО «ВНИИЖТ»), Открытым акционерным обществом «Уральский институт металлов» (ОАО «УИМ»), Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт мостов и дефектоскопии Федерального агентства железнодорожного транспорта» (ФГУП «НИИ мостов и дефектоскопии»), Институтом металлургии и материаловедения имени А.А.Байкова Российской академии наук (ИМет РАН), Обществом с ограниченной ответственностью «ЕвразХолдинг» (ООО «ЕвразХолдинг»), Открытым акционерным обществом «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (ОАО «ЕВРАЗ НТМК»), Открытым акционерным обществом «Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»). – Москва: Стандартинформ, 2014. – V, 97 с. – Текст: непосредственный.
12. Жильцов, В.Н. Устройство и содержание пути Московского метрополитена / В.Н. Жильцов, Е.Т. Мосин. – Москва: Всесоюзное издательско-полиграфическое объединение Министерства путей сообщения, 1960. – 297 с. – Текст: непосредственный.
13. Инструкция по оборудованию, техническому обслуживанию и ремонту испытательных шлейфов и путевых устройств АЛС контрольного пункта АЛСН: № 35002-000-00: утверждена распоряжением ОАО «РЖД» № 1510/р от 12 июля 2021 г. – Текст: непосредственный.
14. Механическое оборудование вагонов метрополитена серии 81-765 (81-766, 81-767): учебное пособие курса «Машинист электропоездов метрополитена» / И.А. Шутов, А.А. Елизаров; под ред. В.Н. Гаранина, Н.Ю. Федорчука; ГУП «Московский метрополитен». Служба профориентации, обучения и развития персонала. Учебно-производственный центр. – Москва, 2017. – 57 с. – URL: <https://metrotest.moscow/wp-content/uploads/2021/02/Мех.оборудование-81-765-Москва-.pdf> (дата обращения: 26.02.2022). – Текст: электронный.