

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ  
УДК 656.256  
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-4>

## Оценка чувствительности локомотивных приёмников при использовании испытательных шлейфов со скрещиваниями



Владислав КУЗЬМИН



Александр ТАБУНЩИКОВ

Владислав Сергеевич Кузьмин <sup>1</sup>,  
Александр Константинович Табунщиков <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский университет транспорта,  
Москва, Россия.

✉ <sup>1</sup> [vs.kuzmin@bk.ru](mailto:vs.kuzmin@bk.ru).

### АННОТАЦИЯ

Одной из основных технико-эксплуатационных характеристик локомотивного приёмника системы автоматической локомотивной сигнализации, входящего в состав всех типов основных локомотивных устройств безопасности, является его чувствительность. Данная характеристика позволяет оценить косвенными методами соотношение сигнал/помеха на входе локомотивного приёмника, а, значит, и оценить помехоустойчивость его работы при номинальных параметрах сигналов автоматической локомотивной сигнализации в рельсовой линии в условиях эксплуатации – силе тока и частоте.

За счёт правильной регулировки чувствительности локомотивного приёмника возможно существенно снизить число сбоев в работе основных локомотивных устройств безопасности. Проверка чувствительности локомотивного приёмника и других параметров устройств безопасности осуществляется на контрольных пунктах, оборудуемых, как правило, в дело при помощи стационарных испытательных шлейфов, имитирующих электромагнитное поле, формируемое сигнальным током, протекающим в рельсовой линии. На результаты измерения чувствительности оказывают влияние различные факторы, в первую очередь положение

приёмных катушек вдоль испытательного шлейфа, выполненного со скрещиваниями, а также расстояние между соседними скрещиваниями. Влияние данных факторов может приводить к невозможности проверки правильности работы локомотивных устройств безопасности при номинальных параметрах сигналов, а также к неверной оценке чувствительности.

Целью данной работы является оценка влияния указанных факторов на результаты измерения чувствительности локомотивного приёмника. В рамках работы, используя общеизвестные методы анализа и синтеза, была разработана модель, базирующаяся на законе Био–Савара–Лапласа и описывающая индуктивную связь «испытательный шлейф–катушка». Получен ряд характерных зависимостей. Результаты сопоставлены с существующими требованиями к положению катушек относительно испытательного шлейфа, выполненного со скрещиваниями.

Для обеспечения наиболее точных результатов измерений чувствительности локомотивного приёмника предложено располагать приёмные катушки локомотивных устройств безопасности на равном удалении от соседних скрещиваний испытательного шлейфа.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, автоматическая локомотивная сигнализация, устройства безопасности, локомотивный приёмник, шлейф, скрещивание, контрольный пункт.

**Для цитирования:** Кузьмин В. С., Табунщиков А. К. Оценка чувствительности локомотивных приёмников при использовании испытательных шлейфов со скрещиваниями // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 30–38. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-4>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

Любая система регулирования или управления движением поездов имеет в своём составе по крайней мере один канал передачи информации от стационарных или, как их иначе называют, «путевых» объектов инфраструктуры к бортовой аппаратуре: канал «путь–локомотив». На сети российских железных дорог широко распространены системы регулирования движения поездов, использующие в своём составе индуктивные каналы связи, где в качестве линий передачи сигналов используют рельсовые цепи.

Следует отметить, что отклонение параметров канала «путь–локомотив» от номинальных значений может привести к сбоям в работе рассматриваемых систем и сопутствующему возникновению нештатных состояний ответственного технологического процесса движения поездов [1]. В связи с этим большое значение приобретают процессы технического обслуживания и ремонта оборудования, направленные на поддержание характеристик канала передачи «путь–локомотив» в области допустимых значений [2]. Особый интерес представляют процессы технического обслуживания и ремонта оборудования автоматической локомотивной сигнализации, размещаемого на железнодорожном подвижном составе. Для оценки его технического состояния, кроме характеристик каждого из блоков, технология определения которых описана в Инструкции № Л229<sup>1</sup>, целесообразным является определение уровня помехоустойчивости работы комплекта приёмного оборудования в целом [3]. Непосредственное определение этой характеристики для локомотивных приёмников не осуществляется ввиду того, что:

- во-первых, динамический диапазон и полоса частот помехи во многом зависят от серий эксплуатируемых единиц железнодорожного подвижного состава, режимов их работы, а также иных особенностей каждого из участков железнодорожных линий [4];
- во-вторых, такие проверки занимали бы длительное время (от нескольких до десятков

часов), так как потребовалась бы проверка всех возможных сочетаний помех и полезных сигналов.

По этой причине оценку помехоустойчивости осуществляют косвенными методами. С одной стороны, оценку можно реализовать за счёт особенностей алгоритмов работы декодеров [5]. С другой стороны, оценку можно осуществить за счёт измерений величины ЭДС на входе локомотивного приёмника, наводимой при минимально возможной в условиях эксплуатации величине тока в линии индуктивной связи, приводящей к его срабатыванию – чувствительности локомотивного приёмника [6]. Последний подход получил наиболее широкое распространение и используется в условиях специально оборудуемых контрольных пунктов.

В большинстве случаев контрольные пункты размещаются в депо, где не всегда есть техническая или производственная возможность организации проверки рельсовых цепей. Рельсовые цепи требуют большое количество путевой аппаратуры в расчёте на одну испытываемую единицу подвижного состава, к тому же они значительно снижают перерабатывающие возможности участков производства по обслуживанию и ремонту тягового подвижного состава: одна рельсовая цепь – один локомотив, в то время как в большинстве случаев на контрольном пункте одновременно проходят обслуживание в среднем три–пять локомотивов.

На контрольных пунктах взамен рельсовых цепей применяют испытательные шлейфы – проводники, проложенные определённым образом с тем, чтобы при протекании по ним электрического тока заданных силы и частоты обеспечивалось формирование вокруг них электромагнитного поля, эквивалентного электромагнитному полю рельса.

Применение испытательных шлейфов несёт в себе ряд очевидных трудностей [7–9], связанных в том числе с необходимостью правильного размещения бортовой аппаратуры на период проведения проверок.

Известны работы, связанные с попыткой оценки влияния геометрического положения испытательного шлейфа на величину индукции магнитного поля, формируемого вокруг него [10]. При этом, несмотря на достаточно подробное описание особенностей индуктивной связи рельсовых нитей и стационарных проводов шлейфов с приёмными катушками

<sup>1</sup> Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту локомотивных устройств безопасности № Л229, утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12 марта 2019 г. № 454/р (в ред. Распоряжения ОАО «РЖД» от 6 августа 2020 № 1677/р). [Электронный ресурс]: consultantplus://offline/ref=3EFC965A7D98E47C2DE4862AC4B7F4A77F3DBE093B33095DDDE8542B41DB77AB46814B78A3F1C7BEDB0F3A7ACFDB53v2EAL. Доступ 11.04.2022.



оборудования автоматической локомотивной сигнализации в литературе [11–14], отсутствуют работы, направленные на оценку влияния местоположения приёмных катушек испытуемой единицы железнодорожного тягового подвижного состава вдоль испытательного шлейфа или конфигурации испытательного шлейфа (со скрещиваниями или без скрещиваний) на измерение чувствительности локомотивного приёмника. В специализированной справочной литературе, в частности, в Техническом справочнике железнодорожника<sup>2</sup>, присутствуют только расчётные выражения для оценки величины ЭДС, наводимой в приёмной катушке от отдельного проводника с током – рельсовой нити. Данные выражения не могут быть использованы для оценки влияния испытательных шлейфов на измерение чувствительности локомотивного приёмника, так как не учитывают ни наличия скрещиваний у последних, ни положения приёмных катушек относительно скрещиваний.

Следует отметить, что зарубежные исследователи также рассматривают вопросы, связанные с особенностями эксплуатации линий связи в системах автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте. При этом большинство современных исследований посвящено вопросам применения радиоканала. В частности, в [15] исследователи проанализировали воздействие помех на приёмопередающее оборудование систем регулирования движения поездов на базе радиоканала с использованием численных методов.

Значительно реже рассматриваются вопросы, связанные с индуктивным каналом передачи информации. Часть таких работ связана с рассмотрением вопросов электромагнитной совместимости оборудования с различными источниками помех. Так, в [16] представлены результаты анализа влияния гармоник тягового тока на работу приёмного оборудования рельсовых цепей. В [17] рассмотрены вопросы, связанные с влиянием контактных проводных линий на линии связи систем автоматики.

В [18] с использованием компьютерного моделирования осуществлена оценка элект-

ромагнитной обстановки, характерной для электрифицированных железнодорожных линий. Следует отметить, что для оценки распределения величин токов вдоль участка пути использованы положения теории многопроводной линии, достаточно широко применяемой отечественными специалистами для анализа, в том числе, линий индуктивной связи. Однако описанная в работе методика не может быть использована в настоящем исследовании, так как она не позволяет оценить особенности индуктивной связи «испытательный шлейф–катушка».

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является оценка влияния параметров испытательного шлейфа и положения приёмных катушек вдоль испытательного шлейфа на измерение чувствительности локомотивного приёмника.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать модель, описывающую процесс передачи сигналов из линии индуктивной связи в форме испытательного шлейфа произвольной конфигурации и геометрических размеров в приёмную локомотивную катушку; при этом модель должна отвечать на вопрос: обеспечивают ли заданные параметры испытательного шлейфа и геометрическое положение приёмных катушек вдоль шлейфа возможность измерения чувствительности локомотивного приёмника и, если обеспечивают, то с какой точностью;
- анализ влияния геометрического положения приёмной катушки вдоль испытательного шлейфа на возможность и точность измерения чувствительности локомотивного приёмника;
- сопоставление существующей нормативной документации и результатов моделирования.

При проведении настоящей работы использованы общепринятые *методы* синтеза и анализа. При синтезе модели использовались положения классической теории электромагнитного поля в части определения величины магнитной индукции и закона Фарадея. Кроме того, использованы общеизвестные положения тригонометрии.

При разработке модели учтены размеры применяемых железнодорожных рельсов, а также действующие нормативные документы в области проектирования и оборудования контрольных пунктов.

<sup>2</sup> Технический справочник железнодорожника. Том 8. Сигнализация, централизация, блокировка, связь. – М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1952. – 976 с.

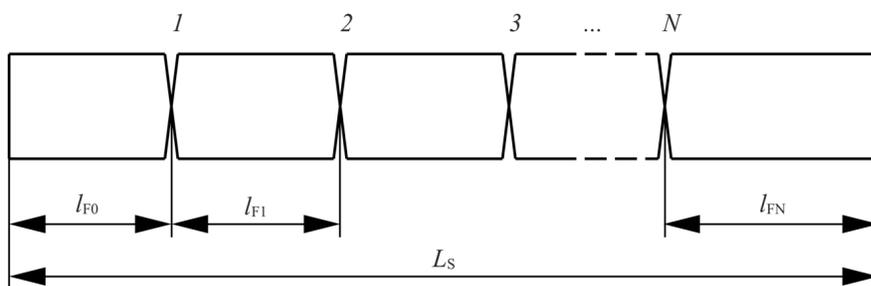


Рис. 1. Графическое представление существенных параметров модели испытательного шлейфа со скреживаниями [выполнено авторами на основе действующей нормативной документации – Инструкции 35002-00-00, 36090-00-00 МУ].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Построение модели

Разрабатываемая модель должна быть направлена на изучение влияния параметров испытательных шлейфов и геометрического положения относительно них приёмных катушек испытуемой единицы тягового железнодорожного подвижного состава. Модель характеризует индуктивную связь между следующими объектами: приёмная катушка и испытательный шлейф.

Параметрами модели являются:

- количество скреживаний испытательного шлейфа  $N$  (при равенстве параметра нулю считаем, что испытательный шлейф выполнен в виде одной рамки);
- длина линии индуктивной связи испытательного шлейфа  $L_s$ ;
- расстояние между левой границей испытательного шлейфа и первым скреживанием  $L_{F0}$ ;
- расстояние между правой границей испытательного шлейфа и последним скреживанием  $L_{FN}$ ;
- расстояние между соседними скреживаниями испытательного шлейфа  $L_{Fs}$ , где  $s$  – натуральное число в диапазоне от 1 до  $N - 1$ ;
- номер скреживания  $K$ , за которым располагается приёмная катушка (отсчёт осуществляется от левой границы испытательного шлейфа);
- расстояние  $l_K$  от скреживания  $K$  до приёмной катушки;
- высота расположения испытательного шлейфа относительно уровня головки рельса  $h_m$ ;
- высота  $h_{r,k}$  подвеса приёмной катушки  $k$  относительно уровня головки рельса  $r$  (расстояние до центра сердечника приёмной катушки  $k$ );
- геометрические размеры (высота, ширина, длина сердечника, площадь сечения одно-

го витка  $S_k$ ), материал сердечника (магнитная проницаемость материала сердечника  $\mu_k$ ) приёмной катушки  $k$ ;

- количество витков обмотки приёмной катушки  $N_k$ .

Все параметры, характеризующие геометрические размеры, должны быть выражены в метрах.

Для понимания приведём схематическую иллюстрацию, на которой показаны существенные геометрические параметры испытательного шлейфа (рис. 1).

Модель строится, исходя из следующих допущений:

1. Высота подвеса испытательного шлейфа для каждого из ходовых рельсов одной железнодорожной колеи одинакова; высота подвеса приёмных катушек относительно испытательного шлейфа одинакова.

2. Величина ЭДС, наводимой в рассматриваемой приёмной катушке от участка испытательного шлейфа, закреплённого на другом ходовом рельсе, равна величине ЭДС, наведённой от рассматриваемого участка испытательного шлейфа в другой приёмной катушке (следствие из первого положения) и потому за счёт встречного последовательного включения приёмных катушек между собой может не рассматриваться.

Идеальными условиями, обеспечивающими максимальную величину ЭДС, наводимой в приёмной катушке, будем считать ситуацию, когда приёмная катушка закреплена над бесконечно длинным прямым тонким проводником с током. При таких условиях чувствительность локомотивного приёмника может быть определена абсолютно точно. Реальными будем считать условия, при которых ЭДС в приёмной катушке наводится от прямого тонкого проводника с током



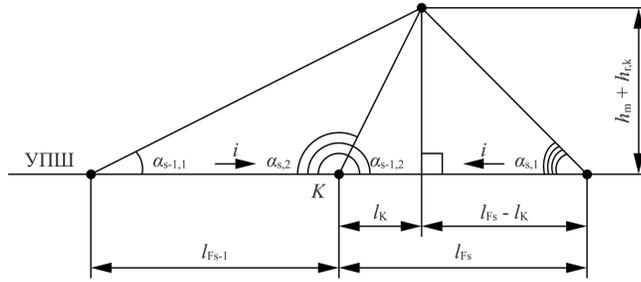


Рис. 2. Определение величин косинусов для модели [выполнено авторами].

конечной длины. Отношение ЭДС, наведённой в реальных условиях  $E_R$ , к ЭДС, наводимой в идеальных условиях  $E_I$ , будем считать коэффициентом эффективности испытательного шлейфа  $K_3$  (1):

$$K_3 = E_R / E_I. \quad (1)$$

На этом этап концептуального проектирования модели можно считать законченным.

Перейдём к непосредственному построению модели, которое сводится к детерминации величин ЭДС в правой части (1). Вначале запишем основополагающие выражения, связывающие:

- величину индукции  $B_{s,k}$  магнитного поля в сердечнике приёмной катушки  $k$ , формируемой током  $I_s$  в проводе шлейфа  $s$ , закреплённом на рельсе  $r$ , с высотой подвеса приёмной катушки относительно оси провода шлейфа  $A_{r,k} = h_m + h_{r,k}$  (2);

- величину индукции  $B_{s,k}$  магнитного поля для приёмной катушки  $k$  от провода шлейфа  $s$  с геометрическим положением приёмной катушки относительно провода шлейфа  $s$  конечной длины (3);

- а также величину ЭДС  $E_{s,k}$  в приёмной катушке  $k$  от провода шлейфа  $s$  с индукцией магнитного поля (4):

$$B_{s,k} = \frac{\mu_k \mu_0 I_s}{2\pi A_{r,k}}, \quad (2)$$

$$B_{s,k} = \frac{\mu_k \mu_0 I_s}{4\pi A_{r,k}} (\cos(\alpha_{s,1}) - \cos(\alpha_{s,2})), \quad (3)$$

$$E_{s,k} = - \frac{N_k d\Phi_{s,k}}{dt} = - \frac{N_k S_k \cos(\alpha_{r,k}) dB_{s,k}}{dt}. \quad (4)$$

Подставляя (2) в (4) и (3) в (4), можно получить окончательные формулы для расчёта ЭДС в приёмной катушке  $k$  для проводника бесконечной длины (5) и проводника конечной длины (6):

$$E_{s,k} = - \frac{N_k d\Phi_{s,k}}{dt} = - \frac{N_k S_k \cos(\alpha_{r,k}) dB_{s,k}}{dt}, \quad (4)$$

$$E_{s,k}^{MAX} = - \frac{\mu_k \mu_0 N_k S_k \cos(\alpha_{r,k})}{2\pi A_{r,k}} \cdot \frac{dI}{dt}, \quad (5)$$

$$E_{s,k} = - \frac{\mu_k \mu_0 N_k S_k \cos(\alpha_{r,k})}{4\pi A_{r,k}} (\cos(\alpha_{s,1}) - \cos(\alpha_{s,2})) \frac{dI}{dt}. \quad (6)$$

Ранее оговаривалось, что испытательный шлейф чаще всего имеет скрещивания. Тогда при рассмотрении шлейф, проложенный вдоль одного рельса, следует разбивать на  $N + 1$  участков – отдельных проводников, направление тока при этом в любых двух соседних участках будет противоположным. Для учёта направления тока введём в формулу (6) коэффициент  $k_s$ , который будем считать равным 1, если ток протекает слева направо (рис. 1) и -1, если ток протекает в обратном направлении. Следует отметить, что величина ЭДС, наводимая в приёмной катушке, в соответствии с принципом суперпозиции равна сумме ЭДС от каждого из проводников, следовательно ЭДС  $E^R$ , получаемая в реальных условиях, может быть рассчитана по формуле (7):

$$E_{s,k}^R = \frac{\mu_k \mu_0 N_k S_k \cos(\alpha_{r,k})}{4\pi A_{r,k}} \frac{dI}{dt}. \quad (7)$$

$$\sum_{s=0}^N -k_s \cdot (\cos(\alpha_{s,1}) - \cos(\alpha_{s,2})).$$

Подставив (5) и (7) в (1), сокращая попутно параметры приёмной катушки  $k$  (пользуясь тем, что рассматривается одна и та же катушка, и влияние её параметров на возможность измерения чувствительности приёмника в данной работе не рассматриваются), получим формулу (8):

$$K_3 = \frac{1}{2} \sum_{s=0}^N -k_s (\cos(\alpha_{s,1}) - \cos(\alpha_{s,2})). \quad (8)$$

Дальнейшая работа сводится к определению величин косинусов. Рассмотрим два случая: связь катушки с участком испытательного шлейфа, над которым она расположена,

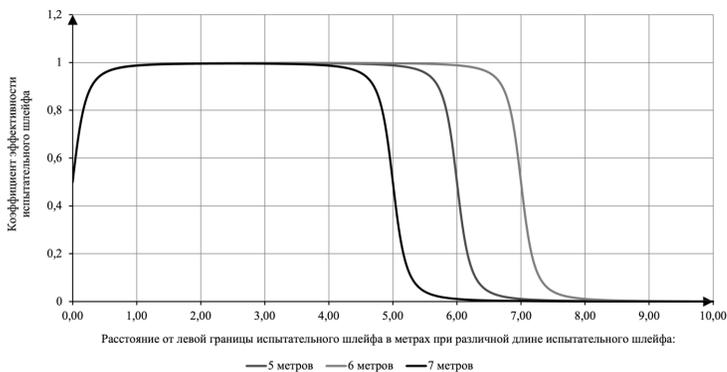


Рис. 3. Зависимость коэффициента эффективности испытательного шлейфа от места расположения приёмной катушки над ним [выполнено авторами].

$$\cos(\alpha_{s,1}) = \begin{cases} \frac{I_k + \sum_{i=s}^{K-1} I_{Fi}}{\sqrt{(I_k + \sum_{i=s}^{K-1} I_{Fi})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{если } s < K; \\ \frac{I_k}{\sqrt{(I_k)^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{если } s = K; \\ -\frac{-I_k + \sum_{i=K}^{s-1} I_{Fi}}{\sqrt{(-I_k + \sum_{i=K}^{s-1} I_{Fi})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{если } s > K; \end{cases} \quad (9)$$

$$\cos(\alpha_{s,2}) = \begin{cases} \frac{I_k + \sum_{i=s+1}^{K-1} I_{Fi}}{\sqrt{(I_k + \sum_{i=s+1}^{K-1} I_{Fi})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{если } s < (K-1); \\ \frac{I_k}{\sqrt{(I_k)^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{если } s = (K-1); \\ -\frac{-I_k + \sum_{i=K}^s I_{Fi}}{\sqrt{(-I_k + \sum_{i=K}^s I_{Fi})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}}, & \text{если } s > (K-1). \end{cases} \quad (10)$$

и связь катушки с участком шлейфа, над которым она не расположена (рис. 2). Линия УПШ на рисунке соответствует уровню прокладки испытательного шлейфа.

На основании вышеизложенного формулы для косинусов угла можно записать в общем виде как формулы (9) и (10), которые приведены отдельно выше.

Объединяя формулы (8)–(10) в систему, можно считать построение модели завершённым.

### РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Первоначально осуществим моделирование коэффициента эффективности для испытательного шлейфа произвольной длины без скрещиваний. Это необходимо для оценки распределения коэффициента эффективности вдоль части испытательного шлейфа между

двумя соседними скрещиваниями без учёта влияния смежных участков испытательного шлейфа. Для этого дополним систему (8)–(10) следующим уравнением (11):

$$N = k = 0. \quad (11)$$

Кроме того, зададимся различными длинами линии индуктивной связи испытательного шлейфа. Пусть  $L_s$  принимает значения 4, 5 и 6 м. Построим график зависимости коэффициента эффективности испытательного шлейфа без скрещивания (рис. 3). Высота подвеса приёмной катушки относительно уровня головки рельса принята равной 100 мм.

Из графиков следует, что снижение эффективности испытательного шлейфа происходит только в области вблизи его границы. На удалении от границы испытательного шлейфа на 1,1 м и более величина магнитной индукции, формируемой испытательным шлейфом,



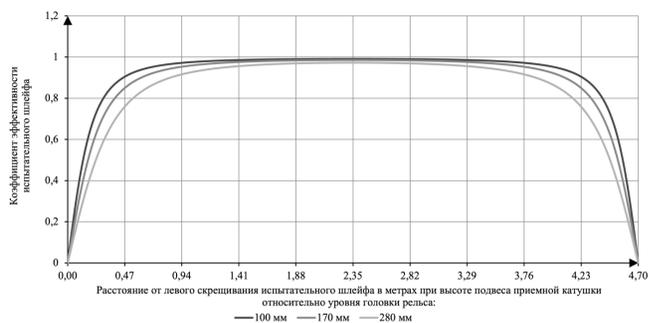


Рис. 4. Зависимость коэффициента эффективности испытательного шлейфа от положения приёмной катушки вдоль участка испытательного шлейфа между соседними скрежками [выполнено авторами].

$$K_{\text{э}} = \frac{l_k}{\sqrt{(l_k)^2 + (h_m + h_{r,k})^2}} + \frac{-l_k + l_{F1}}{\sqrt{(-l_k + l_{F1})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}} - \frac{1}{2} \left( \frac{l_k + l_{F1}}{\sqrt{(l_k + l_{F1})^2 + (h_m + h_{r,k})^2}} + \frac{2l_{F1} - l_k}{\sqrt{(2l_{F1} - l_k)^2 + (h_m + h_{r,k})^2}} \right). \quad (12)$$

составляет не менее 0,99 от аналогичной величины в идеальных условиях при данной высоте подвеса приёмной катушки. Заметим, что коэффициент эффективности испытательного шлейфа при размещении приёмной катушки вне его на расстоянии от границы не менее 1,5 м практически равен нулю. Это позволяет в значительной степени упростить модель и связанные с ней рассуждения. Достаточно в любом из случаев будет рассмотреть только три участка испытательного шлейфа: над которым непосредственно находится приёмная катушка и два смежных с ним – при условии, что длина испытательного шлейфа  $L_s \gg 1,5$  м (на практике минимально допустимое расстояние между двумя соседними скрежками составляет 4,7 м, согласно таблицы Г.1 Инструкции № 35002-00-00<sup>3</sup>). Тогда, полагая, что все участки испытательного шлейфа имеют одинаковую длину  $l_{F1}$ , систему (8)–(10) можно записать одним уравнением в более простом виде (12).

Далее в отношении шлейфов со скрежками будем оперировать только формулой (12). Это значительно сократит количество расчётов при достаточной для исследования степени точности.

Рассмотрим случай, когда длины всех рамок одинаковы и равны типовой минимально возможной величине  $L_s = 4,7$  м, согласно требова-

ниям таблицы Г.1 Инструкции № 35002-00-003 (рис. 4). Как мы ранее уже убедились, с увеличением длины линии индуктивной связи коэффициент эффективности испытательного шлейфа примерно равен единице на большей части её протяжённости. Наихудшим условием эксплуатации будет являться самое короткое из возможных расстояние между скрежками.

Полученная картина позволяет судить о следующем. Чем ниже высота подвеса приёмной катушки относительно уровня головки рельса при использовании шлейфа со скрежками, тем меньше область вблизи мест скрежания последнего, в которой коэффициент эффективности испытательного шлейфа изменяется существенно. При равных расстояниях относительно соседних скрежаний испытательного шлейфа коэффициент эффективности испытательного шлейфа при данных: его длине и высоте подвеса приёмной катушки – максимален (данное утверждение может быть достаточно просто доказано путём определения максимума функции, определённой выражением (12) относительно  $L_k$ ). Вблизи мест скрежания испытательного шлейфа коэффициент эффективности испытательного шлейфа резко снижается за счёт влияния смежного участка испытательного шлейфа, что приводит к невозможности измерения чувствительности локомотивного приёмника в данной области при номинальной силе тока в испытательном шлейфе. С учётом этого построим график зависимости коэффициента эффективности испытательного шлейфа при размещении приёмной катушки на равном удалении от соседних его скрежаний (рис. 5).

С учётом графиков, представленных на рис. 5, можно сформулировать вывод о том,

<sup>3</sup> Инструкция по оборудованию, техническому обслуживанию и ремонту испытательных шлейфов и путевых устройств АЛС контрольного пункта АЛСН № 35002-000-00, утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12 июля 2021 г. № 1510/р. [Электронный ресурс]: consultantplus://offline/ref=ACFC0F802E265D5609396C61FA2297645A36CD753B15BBF0F0683C6B87B643E0101F73D15E3E927DF0C91393978316kCG2L. Доступ 11.04.2022.

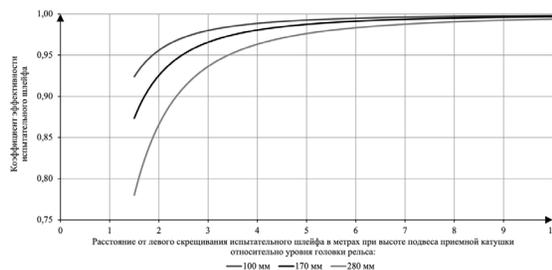


Рис. 5. Зависимость коэффициента эффективности испытательного шлейфа от расстояния между соседними скреживаниями испытательного шлейфа [выполнено авторами].

что при известном допустимом диапазоне высот подвеса приёмных катушек относительно уровня головки рельса при оценке чувствительности локомотивного приёмника необходимо, во-первых, определить требуемую точность (может быть задана коэффициентом эффективности испытательного шлейфа; характеризует отличие получаемых результатов измерений ЭДС, наводимых в приёмных катушках, от максимально возможных значений), а, во-вторых, определить минимальное расстояние между скреживаниями, при котором при размещении приёмной катушки симметрично относительно соседних скреживаний будет достигаться заданная точность.

Полученные результаты позволяют проанализировать существующие нормы, установленные различными документами: п. 1.8.4 Методических указаний 36090-000-00 МУ<sup>4</sup> и п. 3.4.6.6 Инструкции № 35002-00-003. Из указанных нормативных документов следует, что «приёмные катушки единицы тягового железнодорожного подвижного состава должны располагаться не ближе 200 мм к месту скреживания испытательного шлейфа». Согласно результатам моделирования на указанном расстоянии коэффициент эффективности испытательного шлейфа находится в диапазоне от 0,45 до 0,67, следовательно, чувствительность локомотивного приёмника не может быть определена при номинальных величинах силы тока в испытательном шлейфе (наводимая ЭДС будет отличаться от номинальной величины почти в два раза).

Для подтверждения полученных в результате моделирования данных требуется проведение натурного экспериментального исследования для уточнения величины коэффициента эффек-

тивности испытательного шлейфа в зоне скреживания испытательного шлейфа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов проведённого исследования можно сформулировать следующие основные выводы:

1. На основе гипотезы о том, что в зависимости от положения приёмных катушек вдоль испытательного шлейфа существенно изменяются условия для оценки чувствительности локомотивного приёмника, была разработана математическая модель, позволяющая осуществлять моделирование величины коэффициента эффективности испытательного шлейфа в зависимости от положения приёмной катушки и параметров испытательного шлейфа. При разработке модели учтены требования действующих нормативных документов к прокладке испытательных шлейфов.

2. По результатам моделирования установлено, что чем ниже высота подвеса приёмной катушки относительно уровня головки рельса при использовании шлейфа со скреживаниями, тем меньше область вблизи мест скреживания последнего, в которой коэффициент эффективности испытательного шлейфа изменяется существенно. Форма зависимости коэффициента эффективности испытательного шлейфа на различной его длине одинакова и имеет одинаковые характерные точки.

3. На основе сопоставления результатов моделирования с действующими нормами по размещению приёмных катушек испытуемой единицы тягового железнодорожного подвижного состава было установлено их несоответствие. Для указанного в нормативных документах расстояния между приёмной катушкой и местом скреживания испытательного шлейфа коэффициент эффективности испытательного шлейфа составляет только лишь 0,45–0,67, что не позволяет обеспечить условия для оценки чувствительности локомотивного приёмника.

<sup>4</sup> Контрольный пункт АЛС. Методические указания по проектированию и оборудованию. 36090-00-00 МУ: Утверждены заместителем начальника управления сигнализации, связи и вычислительной техники 30.12.1996. Альбом 1. Всего альбомов 2. – М., 1996. – 24 с.





Для получения точных результатов оценки чувствительности локомотивного приёмника следует располагать приёмные катушки на равном удалении от мест скрещиваний, а расстояние между скрещиваниями испытательного шлейфа подбирать с учётом заранее принятой точности измерений.

Для уточнения результатов моделирования необходимо провести соответствующие экспериментальные исследования, работа над которыми уже ведётся специалистами кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов. – М.: ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с. ISBN 5-900242-29-3.
2. Заколесник В. В., Меркулов П. М., Кузьмин В. С. Как улучшить работу контрольных пунктов АЛСН // Локомотив. – 2019. – № 10 (754). – С. 9–10. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40808094> [ограниченный доступ].
3. Табунщиков А. К., Барышев Ю. А., Якимов С. М. Новые принципы и направления работ по повышению помехоустойчивости АЛСН // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году науки: в 2 ч. – Ч. 1. – Гомель: БелГУТ, 2017. – С. 201–202. [Электронный ресурс]: <http://elib.bsut.by/bitstream/handle/123456789/3167/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D1%8B%20%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%20%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B5%202017%20%D1%871-201-202.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Доступ 14.05.2022.
4. Шаманов В. И. Проблемы электромагнитной совместимости рельсовых цепей с тяговой сетью // Автоматика на транспорте. – 2019. – Т. 5. – № 2. – С. 160–185. DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-2-160-185.
5. Биндго А. С., Кузьмин В. С., Меркулов П. М., Табунщиков А. К. Диагностический комплекс для автоматизированной проверки релейной аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия: пат. 2700241 Рос. Федерация № 2018144988; заявл. 19.12.18; опубл. 13.09.19, Бюл. № 26. – 17 с. [Электронный ресурс]: [https://rusneb.ru/catalog/000224\\_000128\\_0002700241\\_20190913\\_C1\\_RU/](https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002700241_20190913_C1_RU/). Доступ 14.05.2022.
6. Леонов А. А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982. – 255 с.
7. Теслев А. Н. Проверка локомотивной сигнализации в середине шлейфа ИШ-74 // Локомотив. – 2019. – № 4 (748). – С. 24. [Электронный ресурс]:

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38536129> [ограниченный доступ].

8. Теслев А. Н. Реконструкция шлейфов ПТОЛ // Локомотив. – 2018. – № 9 (741). – С. 27. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35533528> [ограниченный доступ].

9. Теслев А. Н. Автоматическое включение-выключение шлейфа ИШ-74 у здания ПТОЛ // Локомотив. – 2022. – № 5 (785). – С. 31. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48379729> [ограниченный доступ].

10. Кузьмин В. С., Рядчиков П. О., Петров С. А. К вопросу о требованиях к прокладке испытательного шлейфа // Образование–Наука–Производство: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, 24 декабря 2020 года. – Чита: Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВПО Иркутский университет путей сообщения, 2020. – С. 149–154. [Электронный ресурс]: [https://www.irgups.ru/sites/default/files/zabizht/docs/sciences/sbornik\\_dekabr\\_2020\\_tom\\_1.pdf](https://www.irgups.ru/sites/default/files/zabizht/docs/sciences/sbornik_dekabr_2020_tom_1.pdf) (полный сборник материалов). Доступ 14.05.2022.

11. Шаманов В. И. Индуктивная связь локомотивных катушек АЛСН с рельсовыми линиями // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 11. – С. 2–5. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17110803>. Доступ 14.05.2022.

12. Лисенков В. М. Индуктивная связь с поездами. – М.: Транспорт, 1976. – 112 с.

13. Бородин А. В., Овсянников С. А., Косьяненко В. В. Улучшать качество ремонта и обслуживания приёмных катушек // Локомотив. – 2021. – № 12 (780). – С. 15–17. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47275872> [ограниченный доступ].

14. Бадер М. П. Электромагнитная совместимость тягового электрооборудования с линиями связи, устройствами железнодорожной автоматики и питающими электросетями / Дис... док. техн. наук. – М.: МИИТ, 1999. – 475 с.

15. Hou, W., Zhang, X., Wang, J., Sarris, C. D. Hybrid Numerical Modeling of Electromagnetic Interference in Train Communication Systems. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2020, Vol. 62, Iss. 3, pp. 715–724. DOI: 10.1109/TEMC.2019.2920656 [ограниченный доступ для подписчиков].

16. Feng, J., Cao, J. G., Wu, Z. H. Analysis and Research on Electromagnetic Compatibility of High Speed Railway Traction Current Harmonics to Track Circuit. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2021, Vol. 31, Iss. 8, pp. 1–4. DOI: 10.1109/TASC.2021.3090347 [ограниченный доступ для подписчиков].

17. Yang, L., Hian, L. C., Leong, L. W., Kevin, O. M. C. Induced voltage study and measurement for communication system in railway. Proceedings of 2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC), 2018, pp. 32–35. DOI: 10.1109/ISEMC.2018.8393733 [ограниченный доступ для подписчиков].

18. Zhang, L., Zhu, Y., Chen, S., Zhang, D. Simulation and Analysis for Electromagnetic Environment of Traction Network. Proceedings of 2021 XXXIV<sup>th</sup> General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS), 2021, pp. 1–4. DOI: 10.23919/URSIGASS51995.2021.9560338. ●

### Информация об авторах:

**Кузьмин Владислав Сергеевич** – аспирант, ассистент кафедры автоматика, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, [vs.kuzmin@bk.ru](mailto:vs.kuzmin@bk.ru).

**Табунщиков Александр Константинович** – кандидат технических наук, доцент, кафедры автоматика, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, [tabunshikov1@mail.ru](mailto:tabunshikov1@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 11.04.2022, одобрена после рецензирования 30.05.2022, принята к публикации 27.06.2022.