

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.256.3 : 625.162. 4

В. И. ГАВРИЛЮК<sup>1\*</sup>, О. М. ВОЗНЯК<sup>2\*</sup>, В. В. МЕЛЕШКО<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38(056)3731504, эл. почта diitats@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

<sup>2\*</sup>Каф. «Транспортные технологии», Львовский филиал Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. И. Блажкевич, 12а, Львов, Украина, 79052, тел. +38 (032) 267 99 74, эл. почта ovozom@gmail.com, ORCID 0000-0002-7163-9026

<sup>3\*</sup>Главное управление автоматики, телемеханики и связи ГП «Укрзализныця», ул. Тверская, 5, Киев, Украина, 03680, эл. почта soyzuz\_at@mail.ru, ORCID 0000-0001-6833-964X

### ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОЕЗДА НА УЧАСТКЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ К ПЕРЕЕЗДУ

**Цель.** В статье необходимо проанализировать возможность повышения точности определения положения поезда на участке приближения к переезду для обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах. **Методика.** Исследования проведены с использованием разработанной математической модели, описывающей зависимость входного импеданса кодовых и тональных рельсовых цепей (РЦ) от координаты поезда при различных значениях сопротивления изоляции балласта для всех используемых частот. **Результаты.** Разработана математическая модель, описывающая зависимость входного импеданса кодовых и тональных рельсовых цепей от координаты поезда при различных значениях сопротивления изоляции балласта и всех используемых в РЦ частот сигнального тока. Исследована зависимость относительной погрешности определения координаты поезда по входному импедансу кодовых рельсовых цепей, обусловленная изменением сопротивления изоляции балласта. Значения относительной погрешности определения координаты поезда могут достигать 40–50 %, что не позволяет непосредственно применять этот способ для кодовых рельсовых цепей. Для коротких тональных рельсовых цепей на частотах автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа (25, 50 Гц) относительная погрешность определения координаты поезда по входному импедансу не превышает допустимые значения. Это позволяет использовать рассмотренный способ для определения местоположения поезда на участке приближения к переезду. **Научная новизна.** На основе разработанной математической модели исследована зависимость погрешности определения координаты поезда по входному импедансу рельсовой цепи для кодовых и тональных рельсовых цепей при различных частотах сигнального тока и при различных сопротивлениях изоляции балласта. **Практическая значимость.** Авторами предложен метод определения положения поезда на участке приближения к переезду для перегонов, оборудованных тональными рельсовыми цепями, который основан на использовании дискретного и непрерывного контроля координаты поезда.

**Ключевые слова:** железнодорожные переезды; автоматическая переездная сигнализация; контроль координаты поезда

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

## Введение

Железнодорожные переезды, как места пересечения в одном уровне железнодорожного полотна и автомобильной дороги, являются одними из наиболее опасных участков для движения железнодорожного и автомобильного транспорта. Обеспечение безопасности движения на железнодорожных переездах является одной из наиболее острых задач общей проблемы обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте. В соответствии с проведенным анализом, количество дорожно-транспортных происшествий на переездах Украины в последние годы существенно уменьшилось, но остается достаточно большим и сопровождается значительными материальными и людскими потерями (рис. 1). Анализ дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах разных категорий (рис. 2) показал, что значительное их количество (более 60%) происходило на переездах, оборудованных автоматической переездной сигнализацией (АПС) без дежурного по переезду.

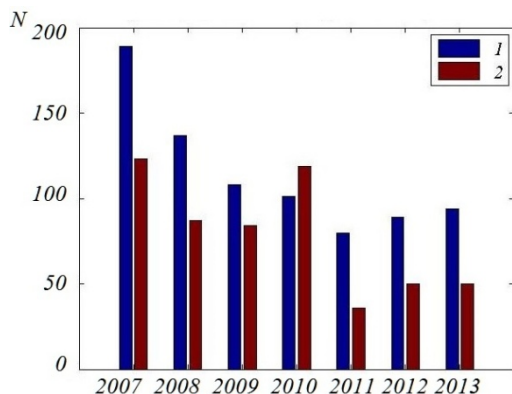


Рис. 1. Общее число дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах Украины (1) и количество пострадавших в них людей (2) за 2007–2013 годы

Fig. 1. The total number of traffic accidents at Ukrainian railway level crossings (1) and the number of affected people in them (2) during 2007–2013

Аналогичная ситуация характерна и для других стран. Так в Европе более 300 смертельных случаев в год происходит вследствие аварий на железнодорожных переездах [10], и большая их часть случается на неохранных переездах.

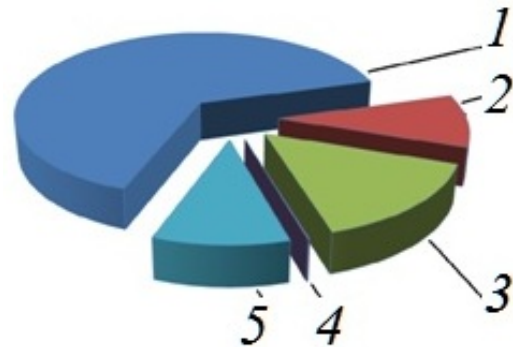


Рис. 2. Распределение дорожно-транспортных происшествий по типам переездов:  
1 – без дежурного с АПС; 2 – без дежурного, без АПС;  
3 – с дежурным и сигнализацией; 4 – с дежурным без сигнализации; 5 – за пределами переезда

Fig. 2. Distribution of traffic accidents by type of railway crossings:

1 – unmaned, equipped automatic level crossing signalization;  
2 – unmaned, without automatic level crossing signalization;  
3 – with person on duty and with level crossing signalization;  
4 – with person on duty and without level crossing signalization;  
5 – outside of a level crossing

Основной причиной дорожно-транспортных происшествий на переездах является несоблюдение водителями автотранспортных средств правил дорожного движения, а именно, проезд через переезд после подачи предупредительных сигналов перед приближающимся поездом.

Для своевременного обнаружения препятствия перед приближающимся поездом на переезде было предложено множество способов, в том числе с применением ультразвуковых датчиков [11], радаров [9], спутникового позиционирования [16] и других сенсорных устройств [8, 0], а также с использованием видеонаблюдения за зоной переезда [12, 13, 15] с передачей информации машинисту поезда.

Выезд автотранспортных средств на переезд после подачи предупредительного сигнала в ряде случаев спровоцирован необоснованно завышенным временем ожидания поезда, которое может составлять 12 и более минут. Это связано с тем, что фактическая скорость движения различных поездов может сильно различаться, в то время как включение АПС происходит при вступлении поезда на участок приближения с фиксированной длиной, которая рассчитывается на максимальную скорость движения поезда.

Таким образом, для повышения безопасности движения на железнодорожных переездах

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

необходимо применение добавочных средств контроля, позволяющих контролировать свободу зоны переезда, а также участок приближения поезда к переезду с автоматическим определением положения и скорости поезда.

В литературе описано множество способов и устройств управления автоматической переездной сигнализацией исходя из фактической скорости и координаты поезда на участке приближения, которые определяют по сигналам от точечных датчиков различной конструкции, размещаемых на участке приближения к переезду. Однако, ни одно из этих устройств не получило широкое применение из-за недостаточной функциональной безопасности. Заслуживают интерес способы измерения координаты поезда на участке приближения к переезду, основанные на контроле изменения параметров рельсовой линии по мере проезда по ней поезда. В [2] предложен способ, основанный на подаче в рельсовую линию тестовых сигналов, в [6,14] предложено измерять расстояние до отцепов на сортировочной горке на основе обработки сигналов рельсовых цепей с использованием классификатора состояний. Авторы [4,5] предложили определять координату поезда по входному сопротивлению рельсовой цепи (РЦ), на которой находится поезд. Поскольку на точность этих способов значительное влияние оказывает сопротивление изоляции балласта рельсовых линий, авторы [4–6, 14] предложили проводить анализ измеренных сигналов и параметров рельсовых цепей с использованием различных классификаторов состояния рельсовых цепей. Однако, достаточно полных исследований влияния изменений сопротивления изоляции балласта на точность определения координаты поезда не проводилось.

### Цель

Целью настоящей работы является повышение точности определения положения поезда на участке приближения к переезду, что в конечном итоге позволит повысить безопасность движения на железнодорожных переездах.

### Методика

Исследования проведены методом математического моделирования на разработанной модели, которая описывает зависимость вход-

ного импеданса кодовых и тональных рельсовых цепей от координаты поезда при различных значениях сопротивления изоляции балласта для всех используемых в настоящее время в РЦ частот сигнального тока.

*Математическая модель.* Эквивалентные схемы кодовой рельсовой цепи с частотой сигнального тока 25 и 50 Гц и безстыковой тональной рельсовой цепи с частотами 25, 50, 420, 480, 580, 720, 780 Гц при наличии поезда на ней (то есть в шунтовом режиме работы) приведены на рис. 3.

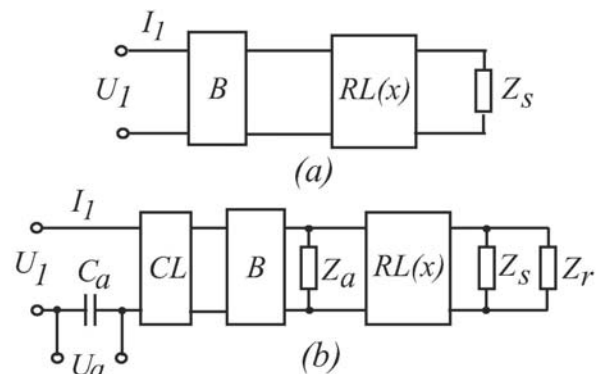


Рис. 3. Эквивалентные схемы кодовой (а) и тональной (б) рельсовых цепей в шунтовом режиме

Fig. 3. Equivalent circuits of the coded (a) and audio-frequency (b) rail circuits in a shunt mode

На рисунке приняты следующие обозначения:  $U_1, I_1$  – входное напряжение и ток на выходе устройства, питающего РЦ (трансформатора, преобразователя частоты или путевого фильтра для тональных рельсовых цепей);  $U_a, I_a$  – напряжение и ток кодовый автоматической сигнализации;  $C_a$  – конденсатор в цепи подачи тока локомотивной сигнализации;  $CL$  – четырехполюсник, соответствующий кабельной линии для тональных рельсовых цепей;  $B$  – четырехполюсник, включающий в себя всю аппаратуру питающего конца рельсовой цепи, расположенной в путевом ящике или релейном шкафу возле рельсовой линии (трансформатор, дроссель-трансформатор резисторы, конденсаторы в соответствии с электрической схемой РЦ [3]);  $Z_a$  – входной импеданс смежной рельсовой цепи (для безстыковых рельсовых цепей);  $RL(x)$  четырехполюсник, соответствующий

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

щий рельсової лінії с подвижною одиницею (поездом), що знаходиться на відстані  $x$  від питаючого кінця;  $Z_s$  – імпеданс поїздного шунта;  $Z_r$  – імпеданс рельсової лінії за подвижною одиницею. Параметри елементів РЦ і коефіцієнти чотирьохполосників для матриць в  $A$ -формі взяті із [3]. Первичні параметри кабельної і рельсової лінії на частоті сигнального тока перераховані в коефіцієнти чотирьохполосників аналогічно [1,3,7]. Общу матрицю в відповідності еквівалентним схемам (рис. 1) знаходили як добуток матриць всіх чотирьохполосників, що входять в неї

$$\underline{M}_0 = \prod_i \underline{M}_i.$$

Вхідний імпеданс рельсової ланки с поїздом шунтом на ній знаходили по формулі

$$\underline{Z}_i = \frac{\underline{M}(1,1)R_s + \underline{M}(1,2)}{\underline{M}(2,1)R_s + \underline{M}(2,2)}.$$

Приведенне математичне описання реалізоване в пакеті MatLab. В якості варіюваних параметрів вибрані частоти сигнального тока  $f$ , рівні 25, 50, 420, 480, 580, 720 або 780 Гц; довжина рельсової ланки  $L$  і поточна координата подвижної одиниці  $x = 0..L$ , а також опір ізоляції баласта  $r_i$ .

### Результати

В результаті моделювання отримані залежності вхідного імпеданса рельсової ланки в шунтовому режимі  $Z_{inp}(x, f, r_i)$  від параметрів РЦ. Моделювання проводили для кодів рельсових ланок с частотою сигнального тока 25 Гц довжиною 2,5 км і 50 Гц довжиною 2,6 км при двох значеннях опору ізоляції баласта  $r_i$ , рівному 1 і 50 Ом/км. Для тональних рельсових ланок моделювання проводили для частот сигнального тока 25, 50, 420, 480, 580, 720 і 780 Гц при довжині рельсової ланки 0,3 км і опору ізоляції баласта  $r_i$  0,8 і 50 Ом/км. Довжина кабельної ланки прийнята рівною 1 км.

Отримані в результаті моделювання залежності модуля вхідного імпеданса  $abs(Z_{inp})$  від координати поїзда  $x = 0..L$  при-

ведені на рис. 4. З рисунка видно, що при відстані до поїзда  $x \leq 1$  км вплив опору ізоляції баласта  $r_i$  на значення  $abs(Z_{inp})$  незначительне, але при збільшенні  $x$  це вплив стає суттєвим, що не дозволяє однозначно визначити координату поїзда  $x$  по вхідному імпедансу рельсових ланок  $Z_{inp}(x, f, r_i)$  с достаточною для практичного використання точністю.

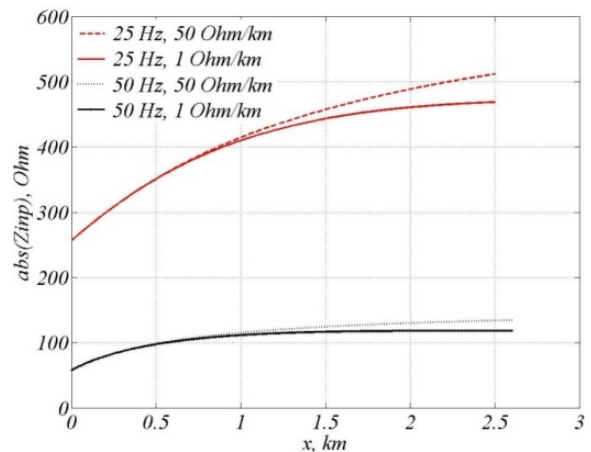


Рис. 4. Залежності модуля вхідного імпеданса кодів рельсових ланок від координати  $x$

Fig. 4. The dependence of the input impedance modulus of the coded rail circuits on the coordinate  $x$

Для дослідження впливу зміни опору ізоляції баласта  $r_i$  на точність визначення координати поїзда  $x$  по значенню  $Z_{inp}(x, f, r_i)$  для кожного значення  $Z_{inp}(x, f, r_i)$  при визначеній частоті  $f$  були розраховані значення відповідної координати поїзда при двох значеннях опору ізоляції баласта  $r_i$ , рівних 50 і 1 Ом/км. Різниця цих значень

$$\text{deltax} = x_1(r_i = 50) - x_2(r_i = 1)$$

характеризує абсолютну похибку визначення координати  $x$ , обумовлену зміною опору ізоляції баласта.

Залежність  $\text{deltax}$  від  $x$  приведена на рис. 5.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

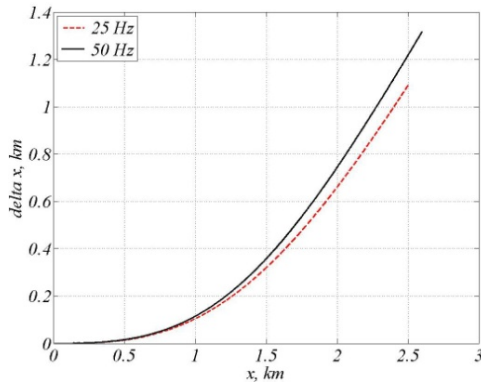


Рис. 5 Зависимость абсолютной погрешности  $\delta x$  от координаты  $x$

Fig. 5 The dependence of the absolute error  $\delta x$  on the coordinate  $x$

Из рисунка видно, что абсолютная погрешность определения координаты  $\delta x$  значительно увеличивается при увеличении  $x > 0,5$  км и при максимальном значении  $x = L$  относительная погрешность составляет ~40–50 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что непосредственное использование способа определения координаты поезда по входному импедансу кодовых рельсовых цепей не обеспечивает необходимую для практического использования точность вследствие значительного влияния изменения сопротивления изоляции балласта. Для уменьшения погрешности измерения координаты в [4,5] предложено использование дополнительной обработки результатов измерений с применением классификатора состояний рельсовых цепей.

Для координаты  $x \leq 0,5$  км погрешность измерений  $x$  по входному импедансу незначительна.

На основании проведенных исследований в работе предложен метод повышения точности определения координаты поезда на участке приближения к переезду, оборудованном тональными рельсовыми цепями, который заключается в одновременном использовании дискретного и непрерывного контроля положения поезда. Дискретный контроль осуществляется по сигналам от путевых реле тональных рельсовых цепей в соответствии со схемой контроля последовательности занятия и освобождения рельсовых цепей. Непрерывный контроль осу-

ществляется на основе зависимости входного сопротивления тональных рельсовых цепей от координаты поезда.

Применению этого метода способствует широкое внедрение автоблокировки с тональными рельсовыми цепями вместо числовой кодовой автоблокировки, происходящее в последнее время. Согласно типовым материалам на проектирование переездной сигнализации для участков, оборудованных автоблокировкой с тональными рельсовыми цепями, для работы переездной сигнализации по каждому пути у переезда выделяют 2 рельсовые цепи, как правило, с общим питающим концом и с частотой 720 Гц для одного пути и 780 Гц для другого пути длиной не менее 150 м. Оставшаяся часть участка приближения к переезду в правильном и неправильном направлениях включает в себя несколько тональных рельсовых цепей. Предшествующая участку приближения тональная рельсовая цепь имеет также небольшую длину и частоту 720 Гц или 780 Гц, что позволяет уменьшить зону дополнительного шунтирования и, соответственно, более точно фиксировать момент вхождения поезда на участок приближения.

Зависимости модуля входного импеданса  $abs(Z_{inp})$  тональных рельсовых цепей от координаты  $x$  поезда для сигнального тока с частотами 420, 480, 580, 720, 780 Гц и для тока АЛС частотой 25 и 50 Гц при  $r_i = 0,8$  Ом/км приведены на рис. 6.

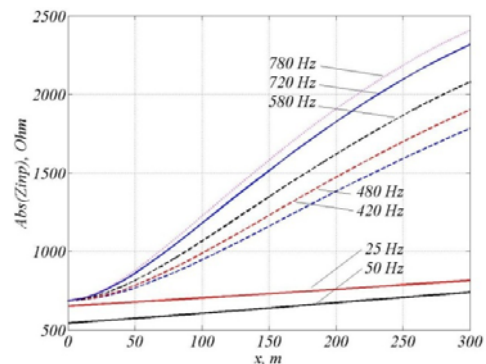


Рис. 6. Зависимости модуля входного импеданса  $abs(Z_{inp})$  тональных рельсовых цепей от  $x$  для различных частот

Fig. 6. Dependencies of input impedance module  $abs(Z_{inp})$  audio-frequency rail circuits on  $x$  for different frequencies

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Как видно из рисунка, монотонная зависимость  $abs(Z_{inp})$  от  $x$  позволяет использовать ее для определения координаты поезда  $x$  при всех исследуемых частотах. Разрешающая способность метода зависит от скорости изменения входного импеданса рельсовой цепи  $Z_{inp}$  при изменении  $x$ . Для оценки скорости изменения  $Z_{inp}$  от  $x$  при разных частотах вычислили производную от  $Z_{inp}$  по  $x$

$$dif(abs(Z_{inp})) = \frac{\partial[abs(Z_{inp})]}{\partial x}.$$

На рис. 7 приведена зависимость производной  $dif(abs(Z_{inp}))$  от  $x$ . Из рисунка видно, что график  $dif(abs(Z_{inp}))$  принимает достаточно большие значения, которые увеличиваются при увеличении частоты и уменьшении расстояния до поезда.

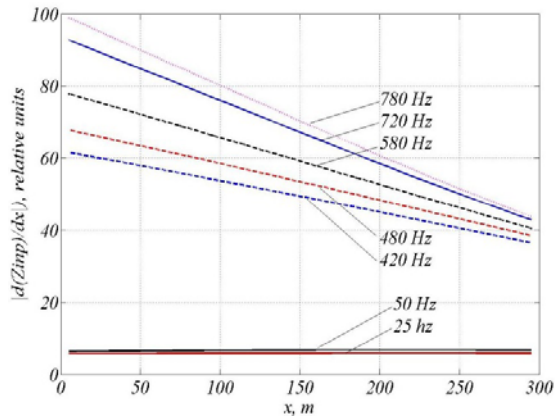


Рис. 7. Зависимости производной  $dif(abs(Z_{inp}))$  от  $x$  для различных частот

Fig. 7. Dependence of the derivative  $dif(abs(Z_{inp}))$  on  $x$  for the different frequencies

Для исследования влияния изменения сопротивления изоляции балласта на значение  $Z_{inp}(x, r_i)$  введем в рассмотрение величину, равную разности значений входного импеданса РЦ при двух крайних значениях сопротивления изоляции балласта  $r_i = 0,8$  и  $50 \text{ Ом/км}$

$$Z_{dif}(x) = Z_{inp}(x, 50) - Z_{inp}(x, 1).$$

Зависимость  $Z_{dif}$  от координаты  $x$  для частот  $f = 25, 50, 420, 480, 580, 720, 780$  Гц приве-

дена на рис. 8. Из рисунка видно, что значение  $Abs(Z_{dif})$  значительно увеличивается при увеличении координаты  $x$  и частоты сигнального тока. Следует отметить, что полученные достаточно большие значения  $Abs(Z_{dif})$  не характеризуют в полной мере погрешность измерения. Для характеристики относительной погрешности измерения рассмотрим относительное изменение входного импеданса рельсовой цепи  $Z_{inp}(x, r_i)$ , вызванные изменением сопротивления изоляции балласта

$$Z_r(x) = \frac{(Z_{inp}(x, 50) - Z_{inp}(x, 0,8))}{Z_{inp}(0,8)}.$$

Рассчитанная зависимость  $Z_r$  от  $x$  приведена на рис. 9. Из приведенной зависимости видно, что относительные значения изменения  $Z_{inp}(x, r_i)$  при изменении сопротивления изоляции балласта имеют приемлемые для практического использования значения, равные  $\leq 1\%$ , только для частот 25 и 50 Гц. Это позволяет сделать вывод, что на коротких рельсовых цепях возможно непосредственное определение координаты поезда по их входному импедансу на частотах работы автоматической локомотивной сигнализации, т.е. 25 и 50 Гц, поскольку относительная погрешность измерения, вызванная изменением сопротивления изоляции балласта на этих частотах, не превышает допустимые для практического применения значения.

Погрешность измерения координаты поезда по входному сопротивлению рельсовых цепей на тональных частотах значительна и применение этих результатов для определения положения поезда возможно только после соответствующей интеллектуальной обработки результатов измерений.

Поскольку входной импеданс рельсовых цепей является комплексной величиной, представляет интерес рассмотрение поведения каждой его компоненты в зависимости от координаты поезда, частоты и сопротивления изоляции балласта для выбора наиболее приемлемой для практического использования компоненты комплексного импеданса. На рис. 10 приведены графики компонент комплексного импеданса

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

рельсової цепі, а именно, модуля  $Abs(\underline{Z}_r)$ , аргумента  $Arg(\underline{Z}_r)$ , дійсної  $Re(\underline{Z}_r)$  і мнимой часті  $Im(\underline{Z}_r)$  від частоти і координати поезда. Из анализа приведенных графиков можно сделать вывод, что наиболее приемлемой величиной для определения координаты  $x$  является рассмотренный выше модуль  $Abs(\underline{Z}_r)$ , поскольку зависимости остальных

компонентов комплексного значения входного импеданса рельсовых цепей от координаты  $x$  имеют более сложный характер, что может привести к неоднозначности толкования результатов измерений.

Результаты, полученные при моделировании для других длин рельсовых цепей и кабельной линии, показали, что рассмотренные выше закономерности выполняются также и для них.

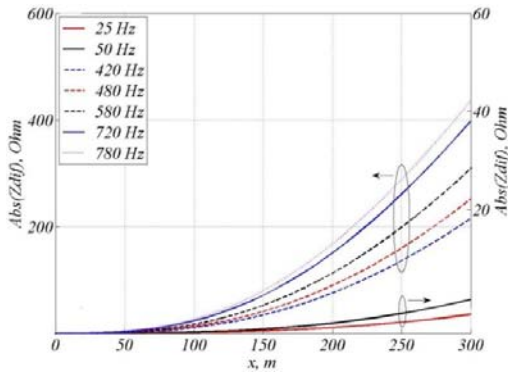


Рис. 8. Зависимость  $Abs(\underline{Z}_{dif})$  от  $x$  для различных частот

Fig. 8. Dependence of  $Abs(\underline{Z}_{dif})$  on  $x$  for different frequencies

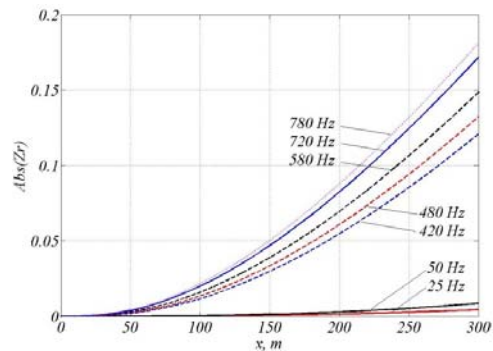


Рис. 9. Зависимость  $Abs(\underline{Z}_r)$  от  $x$  для различных частот

Fig. 9. Dependence of  $Abs(\underline{Z}_r)$  on  $x$  for different frequencies

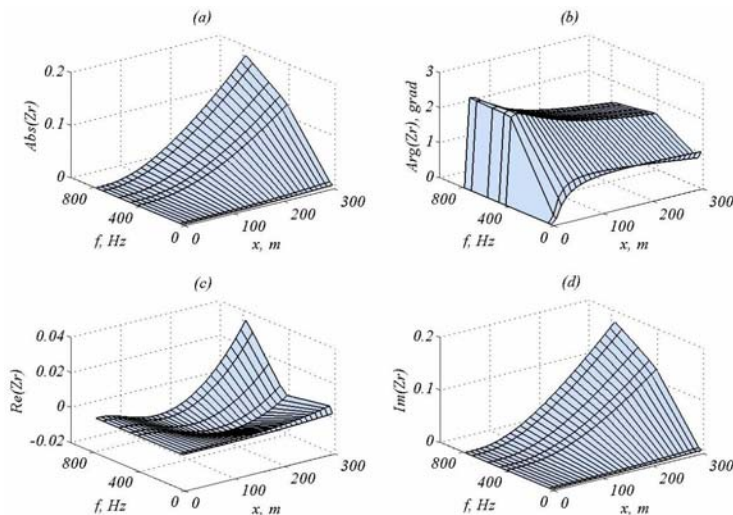


Рис. 10. Зависимости модуля  $Abs(\underline{Z}_r)$ , аргумента  $Arg(\underline{Z}_r)$ , действительной  $Re(\underline{Z}_r)$  и мнимой часті  $Im(\underline{Z}_r)$  импеданса  $\underline{Z}_r$  от частоты  $f$  и координаты  $x$

Fig. 10. Dependence of the module  $Abs(\underline{Z}_r)$ , argument  $Arg(\underline{Z}_r)$ , real  $Re(\underline{Z}_r)$  and imaginary  $Im(\underline{Z}_r)$  part of the impedance  $\underline{Z}_r$  on the frequency  $f$  and coordinate  $x$

### Научная новизна и практическая значимость

На основе разработанной математической модели исследована зависимость погрешности определения координаты поезда по входному импедансу рельсовой цепи для кодовых и тональных рельсовых цепей при различных частотах сигнального тока и сопротивлениях изоляции балласта.

Предложен метод определения положения поезда на участке приближения к переезду для участков, оборудованных тональными рельсовыми цепями, который заключается в сочетании дискретного и непрерывного контроля положения поезда. Дискретный контроль осуществляется по сигналам от путевых реле тональных рельсовых цепей в соответствии со схемой контроля последовательности занятия и освобождения рельсовых цепей. Непрерывный контроль положения поезда осуществляется по входному сопротивлению тональных рельсовых цепей.

### Выводы

1. Разработана математическая модель, описывающая зависимость входного импеданса кодовых и тональных рельсовых цепей от координаты поезда при различных значениях сопротивления изоляции балласта для всех используемых в рельсовых цепях частот сигнального тока.

2. Определена относительная погрешность нахождения координаты поезда по входному импедансу кодовых рельсовых цепей, обусловленная изменением сопротивления изоляции балласта, которая может достигать 40–50 %, что делает невозможным непосредственное применение способа определения координаты поезда по входному импедансу кодовых рельсовых цепей.

3. Для тональных рельсовых цепей на частотах автоматической локомотивной сигнализации относительная погрешность определения координаты поезда по входному импедансу не превышает допустимые значения, что позволяет использовать этот способ для определения местоположения поезда на участке приближения к переезду.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гаврилюк, В. И. Испытания новых типов подвижного состава на электромагнитную совместимость с устройствами сигнализации и связи / В. И. Гаврилюк, В. И. Щека, В. В. Мелешко // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 5 (59). – С. 7–15. doi: 10.15802/stp2015/55352.
2. Грачев, Г. Н. Применение метода импульсного зондирования для организации переездной сигнализации / Г. Н. Грачев, М. Б. Гуменик. // Автоматика, телемеханика и связь. – 1997. – № 11. – С. 28–30.
3. Рельсовые цепи магистральных железных дорог : справочник / В. С. Аркатов, Ю. В. Аркатов, С. В. Казеев, Ю. В. Ободовский. – Москва : Миссия-М. – 2006. – 496 с.
4. Тарасов, Е. М. Выбор признаков и решающих правил при распознавании состояний рельсовых линий сортировочных горок / Е. М. Тарасов, М. В. Трошина // Вестн. УГАТУ. – 2012. – Т. 16, № 3 (48). – С. 194–197.
5. Тарасов, Е. М. Определение вида решающей функции классификатора координат вагонов // Изв. академии управления: теория, стратегии, инновации. – 2013. – № 1 (14). – С. 54–57.
6. Gavriljuk, V. Investigation of correlation measuring method accuracy for two types of test signals / V. Gavriljuk, R. Rybalka, V. Bezrukov // Transport problems. – 2008. – Vol. 3. – Iss. 4, pt. 1. – P. 33–38.
7. Havryliuk, V. I. Electrical impedance of traction rails at audio frequency range / V. I. Havryliuk, V. V. Meleshko // Інформ.-керуючі системи на заліз. трансп. – 2015. – № 2. – P. 31–36.
8. Ku, B. Y. Grade-Crossing Safety / B. Y. Ku // IEEE Vehicular Technology Magazine. – 2010. – Vol. 5. – Iss. 3. – P. 75–81. doi: 10.1109/MVT.2010.938274.
9. Lohmeier, S. P. Development of an ultra-wideband radar system for vehicle detection at railway crossings / S. P. Lohmeier, R. Rajaraman, V. C. Ramasami // Proc. of IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symposium (24.06–28.06.2002). – 2002. – Vol. 6. – P. 3692–3694. doi: 10.1109/IGARSS.2002.1027293.
10. Mekki, A. Validation of a new functional design of automatic protection systems at level crossings with model-checking techniques / A. Mekki, M. Ghazel, A. Toguyeni // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2012. – Vol. 13. – Iss. 2. – P. 714–723. doi: 10.1109/TITS.2011.2178238.
11. Obstruction detector using ultrasonic sensors for upgrading the safety of a level crossing / S. Ка-



## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- zutoshi, H. Arai, T. Shimizu, M. Takada // Proc. of the Intern. Conference on Developments in Mass Transit Systems. – London, 1998. – P. 190–195. doi: 10.1049/cp:19980140.
12. Pu, Y.-R. Study of moving obstacle detection at railway crossing by machine vision / Y.-R. Pu, Li-W. Chen, S-H. Lee // Informational Technology Journal. – 2014. – Vol. 13. – Iss 16. – P. 2611–2618. doi: 10.3923/itj.2014.2611.2618.
  13. Road sign recognition by single positioning of space-variant sensor window / D. G. Shaposhnikov, L. N. Podladchikova, A. V. Golovan, N. A. Shevtsova // Proc. of the 15<sup>th</sup> Intern. Conference on Vision Interface. – Calgary, 2002. – P. 213–217.
  14. Rybalka, R. Identification method of linear dynamic systems with spectrum correction procedure used / R. Rybalka, V. Gavriljuk, V. Bezrukov // Advances in Transport Systems Telematics. – Warszawa : Wydawnictwa komunikacji i łączności, 2009. – P. 229–236.
  15. Rybalka, R. Method for pre-processing of level crossing image / R. Rybalka, K. Honcharov // Transport problems. – 2015. – Vol. 10. – Iss.1. – P. 79–86.
  16. Sobolev, Yu. Principles of railway crossing signaling control using satellite systems of navigation / Yu. Sobolev, A. Bojnik // Eastern-European J. of Enterprise Technologies. – 2003. – № 1. – P. 21–28.
  17. Takeda, T. Improvement of railroad crossing signals / T. Takeda // Proc. of 1999 IEEE/IEEE/JSAI Intern. Conference on Intelligent Transportation Systems (05.10–08.10.1999). – Tokyo, 1999. – P. 139–141. doi: 10.1109/ITSC.1999.821042.

В. І. ГАВРИЛЮК<sup>1\*</sup>, О. М. ВОЗНЯК<sup>2\*</sup>, В. В. МЕЛЕШКО<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта diitats@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-44781

<sup>2\*</sup>Каф. «Транспортні технології», Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. І. Блажкевич, 12а, Львів, Україна, 79052, тел. +38 (032) 267 99 74, ел. пошта ovo-zom@gmail.com, ORCID 0000-0002-7163-9026

<sup>3\*</sup>Головне управління автоматики, телемеханіки та зв'язку ДП «Укрзалізниця», вул. Тверська, 5, Київ, Україна, 03680, ел. пошта soyuz\_at@mail.ru, ORCID 0000-0001-6833-964X

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПОЇЗДА НА ДІЛЯНЦІ НАБЛИЖЕННЯ ДО ПЕРЕЇЗДУ

**Мета.** У статті необхідно проаналізувати можливість підвищення точності визначення положення поїзда на ділянці наближення до переїзду для забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах. **Методика.** Дослідження проведені з використанням розробленої математичної моделі, що описує залежність вхідного імпедансу кодових і тональних рейкових кіл (РК) від координати поїзда при різних значеннях опору ізоляції баласту для всіх використовуваних частот. **Результати.** Розроблено математичну модель, що описує залежність вхідного імпедансу кодових і тональних рейкових кіл від координати поїзда при різних значеннях опору ізоляції баласту та всіх використовуваних в РК частот сигнального струму. Досліджено залежність відносної похибки визначення координати поїзда по вхідному імпедансу кодових рейкових кіл, яка обумовлена зміною опору ізоляції баласту. Значення відносної похибки визначення координати поїзда можуть досягати 40–50 %, що не дозволяє безпосередньо застосовувати цей спосіб для кодових рейкових кіл. Для коротких тональних рейкових кіл на частотах автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу (25, 50 Гц) відносна похибка визначення координати поїзда по вхідному імпедансу не перевищує допустимі значення. Це дозволяє використовувати розглянутий спосіб для визначення місця розташування поїзда на ділянці наближення до переїзду. **Наукова новизна.** На основі розробленої математичної моделі досліджена залежність похибки визначення координати поїзда по вхідному імпедансу рейкового кола для кодових і тональних рейкових кіл при різних частотах сигнального струму та при різних опорах ізоляції баласту. **Практична значимість.** Авторами запропоновано метод визначення положення поїзда на ділянці наближення до переїзду для перегонів, обладнаних тональними рейковими колами, який заснований на використанні дискретного та безперервного контролю координати поїзда.

*Ключові слова:* залізничні переїзди; автоматична переїзна сигналізація; контроль координати поїзда

V. I. HAVRYLIUK<sup>1\*</sup>, O. M. VOZNYAK<sup>2\*</sup>, V. V. MELESHKO<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail diitats@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

<sup>2\*</sup>Dep. «Transportation Technology», Lviv branch of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian, I. Blazhkevich St., 12a, Lviv, Ukraine, 79052, tel. 38 (032) 267 99 74, e-mail ovozom@gmail.com, ORCID 0000-0002-7163-9026

<sup>3\*</sup>Head Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Ukrzaliznytsia, Tverska St., 5, Kyiv, Ukraine, 03680, e-mail soyuz\_at@mail.ru, ORCID 0000-0001-6833-964X

## IMPROVING THE POSITIONING ACCURACY OF TRAIN ON THE APPROACH SECTION TO THE RAILWAY CROSSING

**Purpose.** In the paper it is necessary to analyze possibility of improving the positioning accuracy of train on the approach section to crossing for traffic safety control at railway crossings. **Methodology.** Researches were performed using developed mathematical model, describing dependence of the input impedance of the coded and audio frequency track circuits on a train coordinate at various values of ballast isolation resistances and for all usable frequencies. **Findings.** The paper presents the developed mathematical model, describing dependence of the input impedance of the coded and audio-frequency track circuits on the train coordinate at various values of ballast isolation resistances and for all frequencies used in track circuits. The relative error determination of train coordinate by input impedance caused by variation of the ballast isolation resistance for the coded track circuits was investigated. The values of relative error determination of train coordinate can achieve up to 40-50 % and these facts do not allow using this method directly for coded track circuits. For short audio frequency track circuits on frequencies of continuous cab signaling (25, 50 Hz) the relative error does not exceed acceptable values, this allow using the examined method for determination of train location on the approach section to railway crossing. **Originality.** The developed mathematical model allowed determination of the error dependence of train coordinate by using input impedance of the track circuit for coded and audio-frequency track circuits at various frequencies of the signal current and at different ballast isolation resistances. **Practical value.** The authors propose the method for train location determination on approach section to the crossing, equipped with audio-frequency track circuits, which is a combination of discrete and continuous monitoring of the train location.

*Keywords:* railway crossings; automatic crossing signaling; train coordinate control

### REFERENCES

1. Havryliuk V.I., Shcheka V.I., Meleshko V.V. Ispytaniya novykh tipov podvizhnogo sostava na elektromagnitnyu sovместimost s ustroystvami signalizatsii i svyazi [Testing new types of rolling stock for electromagnetic compatibility with signaling and communication devices]. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 5 (59), pp. 7-15. doi: 10.15802/stp2015/55352.
2. Grachev G.N., Gumenik M.B. Primeneniye metoda impulsnogo zondirovaniya dlya organizatsii pereyzdnoy signalizatsii [Pulse sounding method application for the organization of crossing signaling]. *Avtomatika telemechanika i svyaz – Automation, Telecontrol and Communication*, 1997, no. 11, pp. 28-30.
3. Arkatov V.S., Arkatov Yu.V., Kazeyev S.V., Obodovskiy Yu.V. *Relsovyye tsepi magistralnykh zheleznykh dorog* [Track circuits of main railways]. Moscow, LLC «Missiya-M» Publ., 2006. 496 p.
4. Tarasov Ye.M., Troshina M.V. Vybor priznakov i reshayushchikh pravil pri raspoznavanii sostoyaniy relsovykh liniy sortirovochnykh gorok [Features selection and decision rules for recognition of rail lines on marshalling yards]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Ufa State Aviation Technical University], 2012, vol. 16, no. 3 (48), pp. 194-197.
5. Tarasov Ye.M. Opredeleniye vida reshayushchey funktsii klassifikatora koordinat vagonov [Defining the type of decision function of coordinate cars classifier]. *Izvestiya akademii upravleniya: meoriya, strategiya, inovatsii – News of Management Academy: Theory, Strategy and Innovation*, 2013, no. 1 (14), pp. 54-57.
6. Gavriljuk V., R. Rybalka, V. Bezrukov. Investigation of correlation measuring method accuracy for two types of test signals. *Transport problems*, 2008, vol. 3, issue 4, Part 1, pp. 33-38.
7. Havryliuk V.I., Meleshko V.V. Electrical impedance of traction rails at audio frequency range. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transp – Information and Control Systems on the Railway Transport*, 2015, no. 2, pp. 31-36.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

8. Ku B.Y. Grade-Crossing Safety. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2010, vol. 5, issue 3, pp. 75-81. doi: 10.1109 /MVT.2010. 938274
9. Lohmeier S.P., Rajaraman R., Ramasami V.C. Development of an ultra-wideband radar system for vehicle detection at railway crossings. Proc. of IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symposium (24.06-28.06.2002). 2002, vol. 6. pp. 3692-3694. doi: 10.1109/IGARSS.2002.1027293.
10. Mekki A., Ghazel M., Toguyeni A. Validation of a new functional design of automatic protection systems at level crossings with model-checking techniques. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2012, vol. 13, issue 2, pp. 714-723. doi: 10.1109/TITS. 2011. 2178238.
11. Kazutoshi S., Arai H., Shimizu T., Takada M. Obstruction detector using ultrasonic sensors for upgrading the safety of a level crossing. Proc. of the Intern. Conference on Developments in Mass Transit Systems. London, 1998, pp. 190-195. doi: 10.1049/cp:19980140.
12. Pu Y.-R., Chen Li-W., Lee S-H. Study of moving obstacle detection at railway crossing by machine vision // Y.-R. Pu. *Informational Technology Journal*, 2014, vol. 13, issue 16, pp. 2611-2618. doi: 10.3923/itj.2014.2611.2618.
13. Shaposhnikov D.G., Podladchikova L.N., Golovan A. V., Shevtsova N.A. Road sign recognition by single positioning of space-variant sensor window. Proc. of the 15th Intern. Conference on Vision Interface. Calgary, 2002, pp. 213-217.
14. Rybalka R., Gavriljuk V., Bezrukov V. Identification method of linear dynamic systems with spectrum correction procedure used. *Advances in transport systems telematics. Warszawa, Wydawnictwa komunikacji i łączności Publ.*, 2009, pp. 229-236.
15. Rybalka R., Honcharov K. Method for pre-processing of level crossing image. *Transport problems*, 2015, vol. 10, issue 1, pp. 79-86.
16. Sobolev Yu., Bojnik A. Principles of railway crossing signaling control using satellite systems of navigation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2003, no. 1, pp. 21-28.
17. Takeda T. Improvement of railroad crossing signals. Proc. of 1999 IEEE/IEEE/JSAI Intern. Conference on Intelligent Transportation Systems (05.10-08.10.1999). Tokyo, 1999, pp. 139-141. doi: 10.1109/ITSC.1999.821042.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. А. Б. Бойніком (Украина); д.т.н., проф. В. В. Скалозубом (Украина)

Поступила в редколлегию: 12.12.2015

Принята к печати: 21.02.2016