

В.А. Целищев¹

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОНЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ШУНТИРОВАНИЯ БЕССТЫКОВОЙ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ

Аннотация. Надежность и безопасность функционирования тональных рельсовых цепей определяется рядом факторов, которые необходимо учитывать при анализе правильности функционирования. Особенно это касается вопроса организации интервального движения поездов. Проведен краткий анализ факторов, влияющих на возникновение зон дополнительного шунтирования, а также на ее длину. При моделировании рельсовой цепи предложена схема замещения рельсовой линии в виде последовательного соединения эквивалентов четырехполюсников, обладающих первичными параметрами. Предложен вариант модели бесстыковой рельсовой цепи, выполненный в программном комплексе MULTISIM. Как результат рассмотренная модель реализована, приведены результаты анализа влияния внешних факторов на возникновение и параметры зоны дополнительного шунтирования.

Ключевые слова: железные дороги, рельсовые цепи, моделирование, модель, схема замещения, зона дополнительного шунтирования.

V.A. Tselishchev¹

¹Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

A MODEL FOR DETERMINING THE ZONE OF ADDITIONAL SHUNTING OF A JOINTLESS RAIL CHAIN

Abstract. The reliability and safety of the functioning of tonal rail circuits is determined by a number of factors that must be taken into account when analyzing the correct functioning. This is especially true of the issue of the organization of interval train traffic. A brief analysis of the factors influencing the occurrence of additional bypass zones, as well as its length, is carried out. When modeling a rail circuit, a replacement scheme for a rail line is proposed in the form of a serial connection of equivalents of four-poles with primary parameters. A variant of the model of a seamless rail chain, made in the MULTISIM software package, is proposed. As a result, the considered model is implemented, the results of the analysis of the influence of external factors on the occurrence and parameters of the additional bypass zone are presented.

Key words: railways, rail chains, modeling, model, replacement scheme, additional bypass zone.

Введение.

В настоящее время в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики получают широкое применение тональные рельсовые цепи без изолирующих стыков. Это связано по сравнению с другими видами рельсовых цепей с достоинствами, к числу которых можно отнести применение при любом виде тяги, отсутствии изолирующих стыков, обеспечение шунтового режима при сопротивлении изоляции ниже 1 Ом-км, повышенной защищенностью от воздействия помех, малой потребляемой мощностью, современную элементную базу, централизованное размещение аппаратуры [1,2,3].

У тональных рельсовых цепей присутствуют ряд недостатков, к числу которых относят: плавающие границы рельсовых цепей (блок участков), наличие зон дополнительного шунтирования, малая предельная длина, сложность электроники передающей и приемной аппаратуры, недостаточная защищенность от опасных отказов при колебаниях напряжения питания, чувствительность к изменениям температуры воздуха, к изменению переходных сопротивлений в паяных соединениях из-за их окисления и т.д. [2,4,5,6].

Постановка и решение задачи.

Как уже было отмечено одной из основных особенностей ТРЦ является то, что у нее отсутствуют четкие границы блок-участков. Занятие и освобождение рельсовой цепи поездом фиксируется на некотором расстоянии от ее концов. Это расстояние называется зоной дополнительного шунтирования (рис. 1).



Рис. 1.

Зона дополнительного шунтирования – это зона железнодорожного пути, где колеса поезда занимают две рельсовые цепи одновременно.

Различают зоны дополнительного шунтирования по приближению $l_{шп}$ и зоны дополнительного шунтирования по удалению $l_{шу}$.

Зона дополнительного шунтирования по приближению $l_{шп}$ соответствует такому положению поезда, когда напряжение на входе приемника снижается до значения, соответствующего его порогу отпускания. Зона дополнительного шунтирования по удалению $l_{шу}$ соответствует положению поезда, когда напряжение на входе приемника достигает значения порога срабатывания. На практике это означает, что занятие и освобождение поездом рельсовой цепи фиксируется на некотором расстоянии от точек подключения путевых трансформаторов питающих и приемных концов. В связи с тем, что коэффициент возврата путевого приемника меньше единицы ($\geq 0,8$), то зона дополнительного шунтирования по приближению меньше зоны дополнительного шунтирования по удалению.

Точки подключения аппаратуры к рельсам определяют физическую длину рельсовой цепи. Реальная длина рельсовой цепи больше физической на длину зон дополнительного шунтирования. В результате смежные рельсовые цепи перекрывают друг друга.

В итоге рассчитанная разработчиками реальная длина рельсовой цепи увеличивается на величину зоны дополнительного шунтирования по приближению и зону дополнительного шунтирования по удалению. Не допустимо, чтобы зона дополнительного шунтирования (по приближению и удалению) была равна нулю. При таких условиях нестабильность параметров сигнала рельсовой цепи во времени, и множество других внешних факторов могут привести к потере контроля за состоянием рельсовой цепи [1,2,7,8].

Длина зоны дополнительного шунтирования зависит:

- от напряжения на входе приемника: чем больше напряжение, тем больше длина зоны дополнительного шунтирования (больше реальная длина рельсовой цепи), и наоборот, чем меньше напряжение, тем меньше длина зоны дополнительного шунтирования (меньше реальная длина рельсовой цепи);
- от величины сопротивления изоляции: чем меньше сопротивление изоляции, тем меньше длина зоны дополнительного шунтирования;
- от частоты сигнального тока: чем выше частота, тем меньше зона дополнительного шунтирования.

В соответствии с требованиями нормативных документов принято, что длина зоны дополнительного шунтирования лежит в пределах 10% от длины рельсовой цепи. В связи с этим, для исключения перекрытия светофора перед поездом при приближении его к точке подключения путевого приемника, предусматривается в зоне проходного светофора устройство «электрического» стыка в виде двух дополнительных высокочастотных укороченных рельсовых цепей типа ТРЦ-4. Кроме того, дополнительной мерой, исключающей появление красного огня на проходном светофоре перед приближающимся поездом, является перенос места установки проходного светофора на 20м от точки подключения питающего конца рельсовой цепи навстречу движению поезда.

В эксплуатации длину зоны дополнительного шунтирования регулируют изменением величины напряжения на входе приёмника. Регулировка осуществляется на основе регулировочной таблицы путем изменения напряжения на выходе генератора, настройкой в резонанс путевого фильтра ФП, переключением обмоток путевого трансформатора ПТ, изменением сопротивления балластного резистора в схеме релейного конца рельсовой цепи [3].

В качестве основы для моделирования и исследования зон дополнительного шунтирования принята одна из разновидностей классической схемы включения аппаратуры ТРЦ третьего поколения (ТРЦ3), которая приведена на рис. 2 [3,11,12].

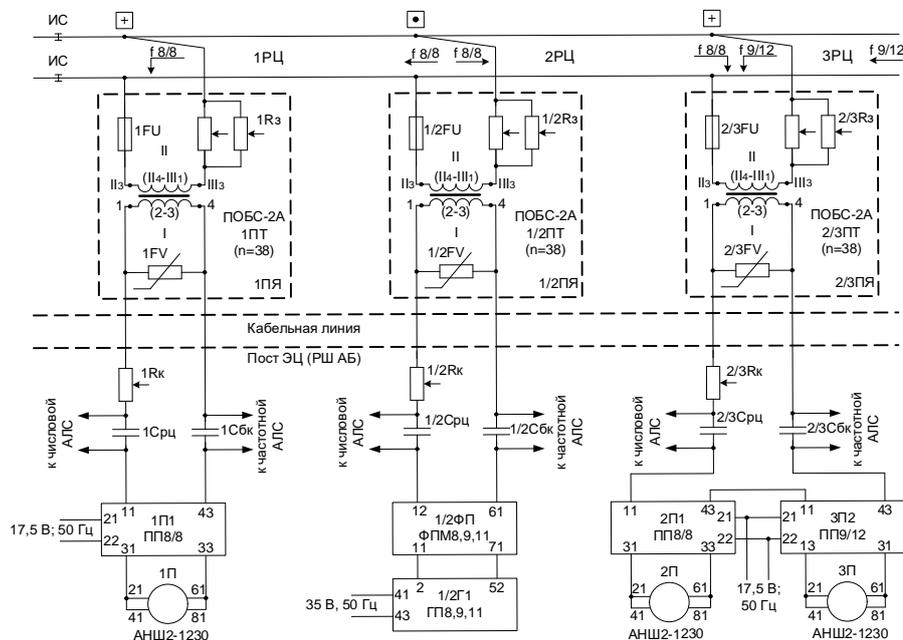


Рис. 2.

Для моделирования тональной рельсовой цепи применен программный комплекс MULTISIM – имитатор для создания моделей разных видов электронных схем. Это уникальный интерактивный эмулятор, позволяющий моделировать и тестировать электрические схемы в одной среде разработки с использованием виртуальных приборов [4,13,14,].

Для моделирования применена тональная рельсовая цепь с блок-участком физической длины 500м с амплитудно-модулированным сигнальным током частотой 420Гц и 760Гц частотой модуляции 12 Гц (рис. 3).

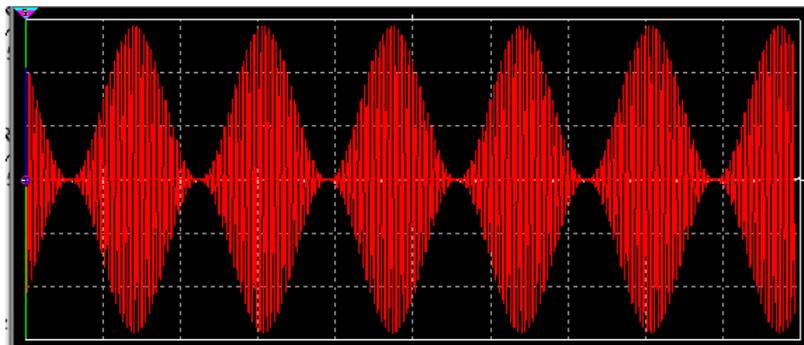


Рис. 3. Амплитудно-модулированный сигнал на входе путевого приемника

Модель (рис. 4) рельсовой цепи собрана из семи четырехполюсников (рис. 5), которые включают в себя: резисторы $Rr1$, имитирующее активное электрическое сопротивление рельса, индуктивность L , имитирующее индуктивное сопротивление рельса, резистор Riz , имитирующий активную составляющую сопротивления изоляции рельсовой линии. Кроме четырехполюсников в состав модели включены источник амплитудно-модулированного напряжения сигнального тока, осциллограф, вольтметры для измерения распределения напряжения по блок-участку и смежной рельсовой цепи, переключатели подключения шунта к контрольным точкам. В качестве шунта использован резистор величиной сопротивления $Rш = 0,03$ Ом. Путьевой приемник имитирован резистором величиной сопротивления 160 Ом. [5,6,7,8,16].

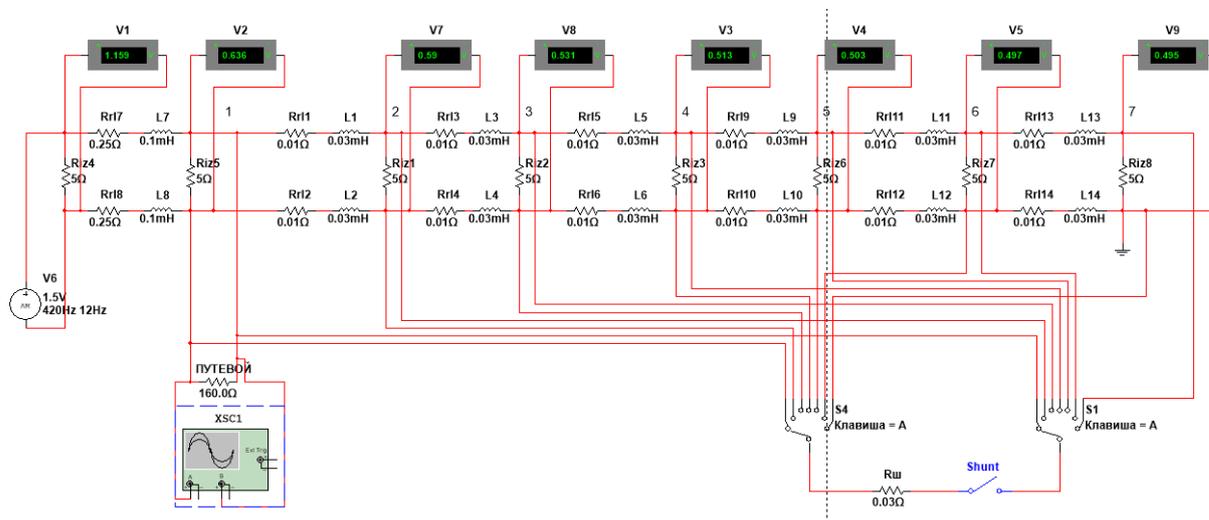


Рис. 4. Модель рельсовой цепи

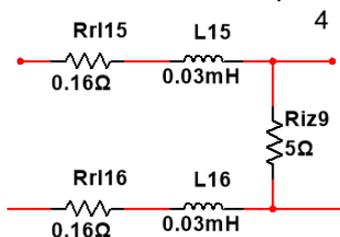


Рис. 5. Схема четырехполюсника

Величина сопротивления и индуктивность рельсовой петли для эксперимента приняты величинами постоянными.

В соответствии с характеристиками путевого приемника и регулировочными таблицами допускается изменение напряжения на его входе в пределах от 0,4 В до 1,5 В. При этом путь приемник находится в возбужденном состоянии и формирует сигнал свободности рельсовой цепи.

Первый эксперимент ставит целью исследование распределения напряжения сигнального тока по блок-участку и смежной рельсовой цепи в отсутствии наложения шунта, но при изменении напряжения на выходе генератора (рис. 6).

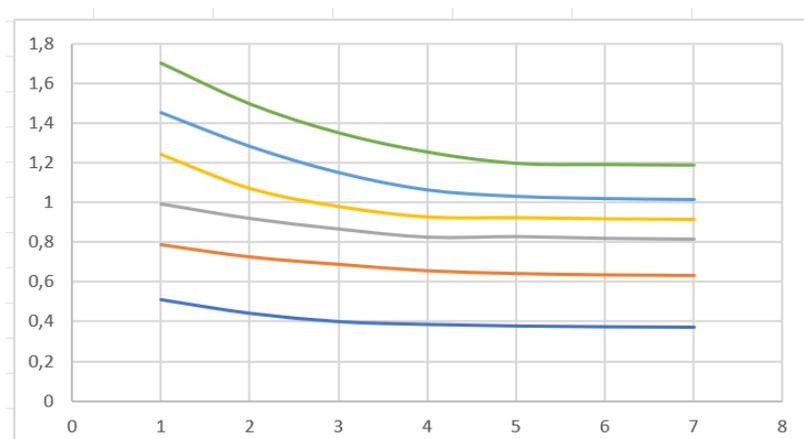


Рис. 6.

Ордината графика под номером 1 соответствует точке окончания контролируемого блок-участка и точке подключения путевого приемника к рельсовой цепи. В этой точке начинается смежная рельсовая цепь. Как видно из графика с ростом напряжения на выходе генератора зона дополнительного шунтирования имеет тенденцию все большего распространения на смежную с блок-участком рельсовую цепь. При этом с ростом напряжения генератора возрастает и напряжение на входе путевого приемника (рис. 7).

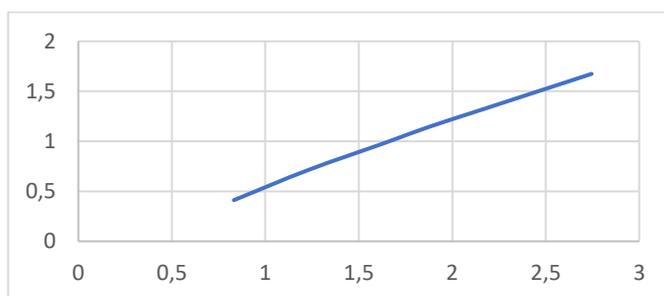


Рис. 7.

Как уже отмечалось ранее зона дополнительного шунтирования зависит от регулировки на выходе генератора напряжения сигнального тока. В ходе моделирования симулировалось прохождение подвижной единицы от места подключения путевого приемника до точки смежной рельсовой цепи, где происходил переход путевого приемника из отключенного в возбужденное состояние (рис. 8).

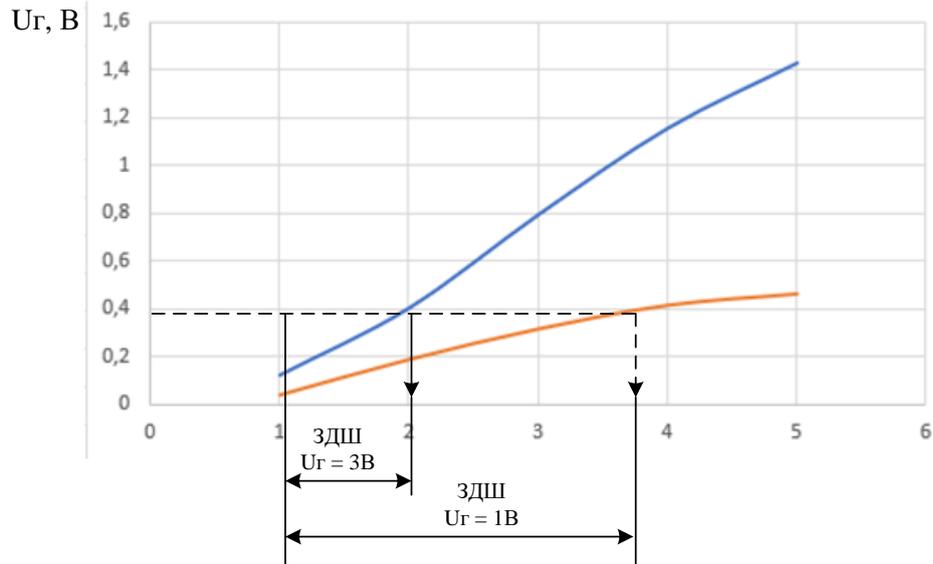


Рис. 8.

Анализ полученного графика показывает, что с увеличением величины напряжения сигнального тока зона дополнительного шунтирования имеет тенденцию к уменьшению.

Моделирование влияния частоты амплитудно-модулированного сигнала проведено при частоте 420 Гц и 760 Гц. (рис. 9).

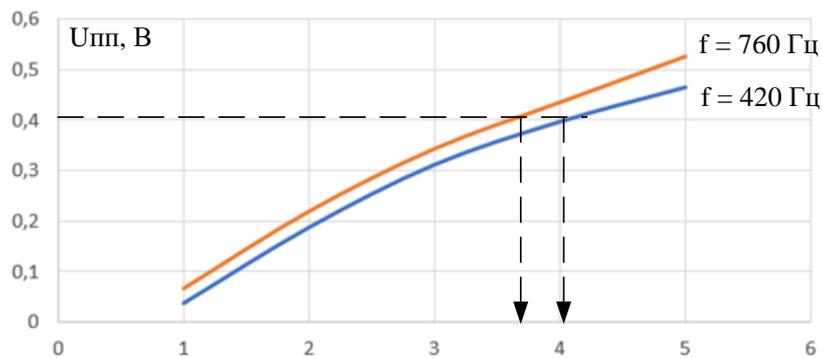


Рис. 9.

Анализ графика зависимости длины зоны дополнительного шунтирования от частоты показывает – длина зоны уменьшается с повышением частоты сигнального тока

Заключение.

Тональные рельсовые цепи сейчас и в перспективе являются основным средством контроля свободности (занятости) пути. Актуальность работ, направленных на повышение качества их технической эксплуатации, очевидна. Эффективным средством решения этой задачи является разработка имитационной модели и на ее основе может использоваться в качестве обучающей системы, для расчета регулировочных таблиц.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аркатов В.С., Кравцов Ю.А. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. – М.: Транспорт, 1990. Электрические рельсовые цепи: учеб. пособие/А.Г. Кириленко, Н.А. Пельменева. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. – 94 с.
2. Котляренко Н.Ф. Электрические рельсовые цепи / Н.Ф. Котляренко. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 327 с.
3. Брылеев А.М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей / А.М. Брылеев, Ю.А. Кравцов, А.А. Шишляков. — М.: Транспорт, 1978. — 344 с.
4. Воронин В.А. Техническое обслуживание тональных рельсовых цепей: учебное пособие / В.А. Воронин, В.А. Коляда, Б.Г. Цукерман. — М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2007. — 93 с.
5. Аркатов В.С., Кравцов Ю. А., Степенский Б.М. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. – М.: Транспорт, 1990. — 326 с.
6. Дмитриев В.С., Минин В.А. Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты. – М.: Транспорт, 1992. — 234 с.
7. Василенко М.Н. Расчет параметров и проверка работоспособности бесстыковых тональных рельсовых цепей / М.Н. Василенко, Б.П. Денисов, В.Б. Культин, С.Н. Растегаев // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2006. — Вып. 2. — С. 104–112.
8. Сборник схем и регулировочных таблиц станционных рельсовых цепей тональной частоты с наложением АЛС 25 (75) Гц при электротяге переменного тока (ТРЦ-ЭТ50 – АЛС 25, 75 Гц). – СПб: Гипротрансигнализация, 1996. – 63 с.
9. Воробей Н.Ю. Автоматизация построения схем замещения тональных рельсовых цепей с использованием формализованного описания / Н. Ю. Воробей // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2011. — Вып. 3 (28). — С. 47–53.
10. Растегаев С.Н. Автоматизация формирования схем замещения для расчета ТРЦ / С.Н. Растегаев, Н.Ю. Воробей // Автоматика, связь, информатика: научно-популярный производственно-технический журнал. — М.: ОАО «РЖД», 2011. — С. 12–13.
11. Тарасов Е.М. Математическое моделирование рельсовых цепей с распределенными параметрами рельсовых линий: Учеб. пособие. – Самара: СамГАПС, 2003. – 118с.
12. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высш. шк., 1973. – 740 с.
13. Целищев В.А. Специальные измерения и рельсовые цепи: лаб. практикум / сост. В.А. Целищев. – Иркутск: ИрГУПС, 2017. – 60 с.
14. Целищев В.А. Процессное моделирование рельсовой цепи // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2021. – №2(10). – С. 25-32.
15. Соколов М.Б. Методы и алгоритмы процессного моделирования тональных рельсовых цепей в системах управления движением поездов: / М.Б. Соколов. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2013. — 184 с.
16. Целищев В.А. Интерактивное моделирование технических систем применением программного комплекса Multisim // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2022. – №4(16). – С. 22-33.

REFERENCES

1. Arkatov V.S., Kravtsov Yu.A. Rail chains. Analysis of work and technical maintenance. - M.: Transport, 1990. Electric rail circuits: studies. manual/A.G. Kirilenko, N.A. Pelmeneva. – Khabarovsk: Publishing House of DVGUPS, 2006. – 94 p.
2. Kotlyarenko N.F. Electric rail circuits / N.F. Kotlyarenko. – M.: Transzheldorizdat, 1961. – 327 p.

3. Bryleev A.M. Theory, device and operation of rail chains / A.M. Bryleev, Yu.A. Kravtsov, A.A. Shishlyakov. — M.: Transport, 1978. — 344 p.
4. Voronin V.A. Maintenance of tonal rail chains: a textbook / V.A. Voronin, V.A. Kolyada, B.G. Zukerman. — M.: Educational and Methodological Center for Education in railway transport, 2007. — 93 p.
5. Arkatov V.S., Kravtsov Yu. A., Gradovsky B.M. Rail chains. Analysis of work and maintenance. — M.: Transport, 1990. — 326 p.
6. Dmitriev V.S., Minin V.A. Auto-locking systems with current frequency rail circuits. — M.: Transport, 1992. — 234 p.
7. Vasilenko M.N. Calculation of parameters and verification of operability of joint-less tonal rail circuits / M.N. Vasilenko, B.P. Denisov, V.B. Kultin, S.N. Rastegaev // Izvestia of the St. Petersburg State University of Railway Communications. — SPb.: PGUPS, 2006. — Issue 2. — C. 104-112.
8. Collection of schemes and adjustment tables of station rail circuits of tonal frequency with the imposition of ALS 25 (75) Hz with alternating current electric traction (SEC-ET50 – ALS 25, 75 Hz). — SPb: Giprottranssignalsvyaz, 1996. — 63 p.
9. Vorobey N.Yu. Automation of the construction of substitution schemes for tonal rail circuits using a formalized description / N. Yu. Vorobey // Proceedings of the Petersburg State University of Railway Transport. — SPb.: PGUPS, 2011. — Issue 3 (28). — pp. 47-53.
10. Rastegaev S.N. Automation of the formation of substitution schemes for the calculation of the SEC / S.N. Rastegaev, N.Yu. Vorobey // Automation, communications, informatics: popular scientific production and technical journal. — Moscow: JSC "Russian Railways", 2011. — pp. 12-13.
11. Tarasov E.M. Mathematical modeling of rail circuits with distributed parameters of rail lines: Textbook. — Samara: SamGAPS, 2003. — 118s.
12. Bessonov L.A. Theoretical foundations of electrical engineering. — M.: Higher School, 1973. — 740 p.
13. Tselishchev V.A. Special measurements and rail chains: lab. practicum / comp. V.A. Tselishchev. — Irkutsk: IrGUPS, 2017. — 60 p
14. Tselishchev V.A. Process modeling of a rail chain // "Information technologies and mathematical modeling in the management of complex systems": electron. scientific journal. — 2021. — №2(10). — Pp. 25-32.
15. Sokolov M.B. Methods and algorithms of process modeling of tonal rail circuits in train traffic control systems: / M.B. Sokolov. — St. Petersburg: PGUPS, 2013. — 184 p.
16. Tselishchev V.A. Interactive modeling of technical systems using the Multisim software package // "Information technologies and mathematical modeling in the management of complex systems": electron. scientific journal. — 2022. — №4(16). — Pp. 22-33.

Информация об авторах

Целищев Владимир Александрович – доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь» Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: celishhev-vladimir@rambler.ru.

Author

Tselishchev Vladimir Aleksandrovich – Assistant Professor of Automatic, Telemechanic and Telecommunication Systems Department of Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: celishhev-vladimir@rambler.ru.

Для цитирования

For citation