

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

САЯПІНА ІННА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 656.259.12 : 656.256.3

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ
ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

275 – транспортні технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

І.О. Саяпіна

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Панченко Сергій Володимирович

Харків – 2017

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	20
<u>ВСТУП</u>	<u>21</u>
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ РЕЙКОВОЇ ЛІНІЇ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ	27
1.1. <u>Огляд існуючих засобів контролю рейкової лінії</u>	<u>27</u>
1.2. <u>Аналіз чинників, що впливають на роботу рейкових кіл</u>	<u>30</u>
1.3. <u>Аналіз методів підвищення завадостійкості рейкових кіл</u>	<u>37</u>
1.4. <u>Засоби підвищення завадостійкості роботи тональних рейкових кіл</u>	<u>41</u>
1.5. <u>Висновки за розділом 1</u>	<u>45</u>
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ СИГНАЛІВ У ТРАКТІ ПЕРЕДАЧІ ТОНАЛЬНОГО РЕЙКОВОГО КОЛА	48
2.1. <u>Особливості розповсюдження сигналів у ТРК</u>	<u>48</u>
2.2. <u>Формалізація структури тракту передачі сигналів ТРК</u>	<u>52</u>
2.3. <u>Модель тракту передачі сигналів ТРК</u>	<u>57</u>
2.4. Перевірка моделі тракту передачу сигналів ТРК на адекватність	61
2.5. <u>Висновки за розділом 2</u>	<u>70</u>
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ	72
3.1. Дослідження впливу гармонічних складових тягового струму на роботу ТРК	72
3.2. <u>Дія імпульсних і флуктуаційних впливів на роботу ТРК</u>	<u>81</u>
3.3. Моделювання процесу впливу багатокomпонентної завади на приймальну апаратуру ТРК	86
3.4. <u>Розробка методу підвищення завадостійкості ТРК</u>	<u>89</u>
3.5. <u>Висновки за розділом 3</u>	<u>98</u>

РОЗДІЛ 4. НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ МЕТОДИ І ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ	100
4.1 Загальна постановка задачі та навчання нейронних мереж	100
4.2 Структура нейромережевої моделі, що реалізує метод адаптивного управління пристроєм підвищення завадостійкості ТРК	110
4.3 Функціонування адаптивного методу управління пристроєм підвищення завадостійкості ТРК	119
4.4 Перевірка на адекватність нейромережевої моделі адаптивного методу управління пристроєм підвищення завадостійкості ТРК	121
4.5 Оцінка економічної ефективності підвищення завадостійкості ТРК	133
4.6 Висновки за розділом 4	142
ВИСНОВКИ	144
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	147
Додаток А. Розрахунок параметрів рейкової лінії в нормальному і шунтовому режимах	161
Додаток Б. Розрахунок параметрів сигналу при проходженні елементів ТРК	163
Додаток В. Результати математичного моделювання ТРК	164
Додаток Г. Розрахунок гармонійних складових завад внаслідок асиметрії тягового струму	189
Додаток Д. Визначення параметрів імпульсних завад	190
Додаток Е. Розрахунок співвідношень сигнал/завада при різних впливах на тракт ТРК	192
Додаток Ж. Вагові коефіцієнти і ваги зміщень нейронних мереж	192
Додаток З. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	202
Додаток И. Патенти за результатами дисертаційної роботи	206

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АБ – автоблокування;
- АБТ – автоблокування з тональними рейковими колами;
- АБТЦ – автоблокування з тональними рейковими колами і централізованим розміщенням обладнання;
- АБ-УЕ – уніфікована система автоблокування єдиного ряду;
- АЛС – автоматична локомотивна сигналізація;
- АЛСБ – автоматична локомотивна сигналізація безперервної дії;
- ГОІ – генератор одиничних імпульсів;
- ДТ – дросель-трансформатор;
- ЗАТ – залізнична автоматика і телемеханіка;
- ІРРП – інтервальне регулювання рухом поїздів;
- ІС – ізолюючі стики;
- ЛЗ – лінія затримки;
- НМ – нейронна мережа;
- КГ – колійний генератор;
- КП – колійний приймач;
- КТ – колійний трансформатор;
- КФ – колійний фільтр;
- РЛ – рейкова лінія;
- РК – рейкове коло;
- СЗАТ – системи залізничної автоматики і телемеханіки;
- СЦБ – сигналізація, централізація, блокування;
- ТРК – тональне рейкове коло;
- ЕК – електронний ключ;
- ЕМС – електромагнітна сумісність;
- ЕРС – електрорухомий склад.

ВСТУП

Актуальність теми. Робота автоматизованих систем управління рухом поїздів, що відповідають за безпеку і ефективність перевізного процесу, в значній мірі залежить від справної роботи первинних елементів контролю вільності блок-ділянок та цілісності рейкових ниток. В якості таких елементів широке поширення на залізницях України отримали рейкові кола (РК). Електрифікація залізниць, впровадження нових типів електрорухомого складу (ЕРС), збільшення інтенсивності руху ставить нові вимоги перед системами управління рухом поїздів. Тому актуальним стає питання їх вдосконалення та модернізації.

Рейкові кола контролюють вільність або зайнятість блок-ділянок залізниць, цілісність рейкових ліній (РЛ), є безперервним каналом передачі сигналів автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) з колії на локомотив. Найбільша кількість їх відмов припадає на ізолюючі стики (ІС). Тому перспективним є впровадження систем на основі тональних рейкових кіл (ТРК), які не містять ІС, дозволяють скоротити кількість дросель-трансформаторів (ДТ) і знизити втрати електроенергії на тягу поїздів. Крім того, використання струму тональної частоти в якості сигнального підвищує захищеність від впливів тягового струму, дозволяє реалізувати централізоване розміщення апаратури і зменшити споживану потужність.

Робота ТРК відбувається у складних умовах впливу безлічі завад, які виникають через впливи несиметричної за параметрами тягової мережі, що передає енергію з несинусоїдальними змінними або пульсуючими постійними напругами і струмами, протікання зворотного тягового струму по РЛ з асиметрією параметрів, появу додаткових гармонійних складових тягового струму при рекуперативному гальмуванні і тиристорному імпульсному регулюванні тягових двигунів. Крім того, можливі впливи імпульсних завад, що виникають при грозових розрядах, аварійних і комутаційних процесах в мережах електропостачання і в контактній мережі.

Останнім часом у зв'язку з впровадженням нових типів ЕРС з перспективними видами тягових перетворювачів безпечна робота ТРК ускладнюється з огляду на виникнення завад у діапазоні робочих частот ТРК. Електрифіковані залізниці, призначені для швидкісного руху, є джерелом потужних електромагнітних завад, що впливають на апаратуру ТРК.

Все це викликає відмови в роботі ТРК, що тягне за собою простой поїздів і дорожньо-транспортні пригоди за участю людей, вантажів і технічних засобів і, як наслідок, може стати причиною екологічної катастрофи в районі дорожньо-транспортної пригоди і привести до збитків для учасників транспортного процесу. Тому удосконалення методів і засобів підвищення завадостійкості є актуальним науковим завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі електротехніки та електричних машин Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) згідно з:

- Державною цільовою програмою реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки (Постанова Кабінету Міністрів України № 1390 від 16.12.2009 р.),
- Стратегією розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16.01.2009 р. №1555-р.

Автор була виконавцем науково-дослідної роботи "Дослідження та розробка методів автоматизованого керування рухомим складом залізничного транспорту" (номер держреєстрації 0111U002240).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є вирішення наукового завдання вдосконалення методів та засобів підвищення завадостійкості ТРК. Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати чинники, що негативно впливають на роботу ТРК, та існуючі підходи щодо підвищення безпеки систем на основі ТРК, що

дозволить виділити актуальний напрямок подальшого удосконалення ТРК в рамках розвитку залізниць України;

- розробити метод підвищення завадостійкості ТРК для зменшення впливу негативних чинників на його роботу;

- розробити метод адаптивного керування пристроєм підвищення завадостійкості ТРК для налаштування захисного часового інтервалу колійного приймача;

- удосконалити пристрій приймання амплітудно-маніпульованих сигналів ТРК, що дозволить захистити колійний приймач від вузькосмугових завад;

- удосконалити імітаційну модель ТРК для дослідження характеру розповсюдження інформаційних сигналів у його тракті передачі при різних умовах експлуатації;

- провести техніко-економічну оцінку впровадження результатів дисертаційної роботи.

Об'єкт дослідження – процес поширення інформаційних сигналів в ТРК.

Предмет дослідження – методи та засоби підвищення завадостійкості роботи колійного приймача ТРК.

Наукова новизна отриманих результатів роботи полягає у вирішенні наукового завдання удосконалення тонального рейкового кола за рахунок підвищення його завадостійкості.

Вперше розроблено:

- метод підвищення завадостійкості тонального рейкового кола, який дозволяє зменшити вплив завад на колійний приймач в інтервалах між імпульсами інформаційного сигналу;

- метод адаптивного керування пристроєм підвищення завадостійкості тонального рейкового кола, який коригує величину затримки сигналу залежно від умов роботи тонального рейкового кола, що дозволяє підвищити точність налаштування захисного часового інтервалу колійного приймача.

Удосконалено:

- метод приймання амплітудно-маніпульованих сигналів тонального рейкового кола, який, на відміну від існуючих, дозволяє підвищити завадостійкість колійного приймача від вузькосмугових завад.

Знайшла подальший розвиток:

- імітаційна модель тонального рейкового кола, яка, на відміну від існуючих, дає можливість досліджувати характер розповсюдження інформаційних сигналів у тракті передачі при різних умовах експлуатації і оцінити їх часові залежності.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої в роботі мети було використано наступні методи:

- для розроблення моделі ТРК і перевірки її на адекватність – закони електротехніки, теорії електричних кіл, теорія матриць, теорія чотиріполюсників, чисельні методи, метод програмного моделювання, методи математичної статистики;

- для створення моделей завад, що впливають на роботу ТРК, – метод гармонійного аналізу, перетворення Фур'є і програмне моделювання;

- для розроблення та наукового обґрунтування методу підвищення завадостійкості та ефективності роботи ТРК – закони електротехніки, а також програмне моделювання;

- для формування моделі завадостійкої ТРК – теорія нейронних мереж (НМ), теорія матриць, методи цифрової обробки сигналів, прикладної статистики, методи оптимізації (Левенберга-Марквардта і Гаусса-Ньютона).

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному. Запропоновані методи підвищення завадостійкості ТРК можуть бути впроваджені на діючих ділянках залізниць України, обладнаних ТРК з централізованим розміщенням обладнання без істотних змін у конструкції апаратури. Вони дозволять підвищити завадостійкість колійного приймача та нададуть можливість зменшити кількість відмов ТРК, що викликані впливом завад на колійний приймач, у результаті чого зменшаться експлуатаційні

витрати, пов'язані з простоєм поїздів, а також дорожньо-транспортними пригодами за участю людей, вантажів і технічних засобів.

Результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі кафедри електротехніки та електричних машин, кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, а також Навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів УкрДУЗТ при підготовці фахівців служб сигналізації та зв'язку.

Основні результати роботи передані для впровадження до регіональної філії "Південна залізниця" ПАТ "Укрзалізниця", що підтверджується відповідними актами впровадження, які наведені в додатках до дисертаційної роботи. Їх упровадження дає можливість підвищити завадостійкість колійного приймача ТРК і, як наслідок, безпеку процесу перевезень, зменшити кількість відмов, розмір експлуатаційних витрат і попередити аварії й втрати вантажів.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, що наведені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто та проводились в УкрДУЗТ. Результати відображені в 22 публікаціях, з яких 7 – у співавторстві, де автору належить:

- у статті [1] – визначення особливостей, переваг та недоліків сучасних систем регулювання рухом поїздів;
- у статті [2] – створення імітаційної моделі завадостійкого тонального рейкового кола, а також отримання результатів моделювання;
- у [3] – формування основних методологічних підходів до побудови структури рейкового кола;
- у [4] – визначення основних принципів побудови нейромережевої моделі;
- у [5] – формування ряду основних принципів, які покладено в основу пристрою прийому сигналу з рейкового кола;
- у [6] – визначення підходів до формування моделі рейкового кола;

- у [7] – розгляд особливостей методів та засобів контролю технічного стану ТРК.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися і обговорювалися:

- на 24, 25 міжнародних науково-практичних конференціях "Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізниць України" (2011, 2012 Алушта);

- на 27, 28, 29 міжнародних науково-практичних конференціях "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (2014, 2015, Харків, 2016, Чорноморськ)

- на II-й міжнародній науково-практичній конференції "Людина, суспільство, комунікативні технології" (2013, Червоний Лиман);

- на 74, 75, 76, 77 і 78 міжнародних науково-технічних конференціях "Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті" (2012, 2013, 2014, 2015 і 2016, Харків).

Дисертацію в повному обсязі розглянуто і схвалено на розширеному засіданні кафедри електротехніки та електричних машин УкрДУЗТ.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 22 наукові праці, у тому числі 8 наукових статей (з них 5 – без співавторів) у фахових виданнях, затверджених МОН України, з яких 5 включені до міжнародних наукометричних баз, 2 патенти на винахід, 1 патент на корисну модель та 11 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і дев'яти додатків.

Повний обсяг роботи становить 208 сторінок, з яких обсяг основного тексту – 123 сторінки. Робота містить 54 рисунки за текстом, 2 рисунки на окремій сторінці, 21 таблицю за текстом та 1 таблицю на окремій сторінці. Список використаних джерел містить 123 найменування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабаєв М.М., Саяпіна І.А. Аналіз сучасних систем регулювання рухомими поїздами // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Донецьк: ДонІЗТ, 2011. Вип. 28. С.66-74.
2. Бабаєв М.М., Саяпіна І.А. Підвищення помехозахищеності тональних рельсових цепей // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Донецьк: ДонІЗТ, 2012. Вип. 32. С.100-105.
3. Рельсове коло : патент на винахід 101093 Україна: МПК В 61 L 23/00 / М.М. Бабаєв, С.В. Кошевий, В.О. Сотник, В.Б. Романчук, О.М. Ананьєва, І.О. Саяпіна; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № а201110949; заявл. 13.09.2011; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4. 5 с.
4. Панченко С.В., Саяпіна І.А. Нейросетевая модель пристрою управління помехостійливою тональною рельсовою цепью // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 1(122). С. 12-17.
5. Пристрій для прийому сигналу з рейкового кола: патент на винахід 105586 Україна: МПК В 61 L 23/00 / М.М. Бабаєв, В.С. Блиндюк, М.М. Чепцов, О.М. Ананьєва, І.О. Саяпіна; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № а201304049; заявл.01.04.2013; опубл.26.05.2014, Бюл. № 10. 4 с.
6. Рейкове коло: патент на корисну модель 68742 Україна: МПК В 61 L 23/00 / М.М. Бабаєв, С.В. Кошевий, В.О. Сотник, В.Б. Романчук, О.М. Ананьєва, І.О. Саяпіна; власник Українська державна академія залізничного транспорту. – № u201111106; заявл. 19.09.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7. 5 с.
7. Бабаєв М.М., Саяпіна І.О. Дослідження методів і засобів контролю технічного стану тональних рейкових кіл // Перспективні комп'ютерні, керуючі і телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України:

- тези доп. 24-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Алушта, вересень 2011 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. Харків: УкрДУЗТ, 2011. №5. С. 121.
8. Переборов А.С., Брылеев А.М., Сапожников В.В. и др. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики: учебник для ВУЗов / Под ред. А.С. Переборова. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва: Транспорт, 1984. 384 с.
 9. ЦШЕОТ 0012: інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування. Київ: Укрзалізниця, 1998. 72 с.
 10. Котляренко Н.Ф. Путевая блокировка и авторегулировка: учебник для вузов / Н.Ф. Котляренко, А.В.Шишляков, Ю.В.Соболев. И.З. Скрыпин, В.А. Шишляков; под ред. Н.Ф. Котляренко. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва: Транспорт, 1983. – 408 с.
 11. Кондратьева Л.А., Ромашкова О.Н. Системы регулирования движения на железнодорожном транспорте: учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. Москва: Маршрут, 2003. 432 с.
 12. Андерс Э., Берндт Т., Довгий И. и др. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира: учеб. пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта / под общ. ред. Г. Теега, С. Власенко. Москва: Интекст, 2010. 496 с.
 13. Федоров, Н.Е. Релейные и микроэлектронные системы регулирования движения поездов: учебное пособие для студентов специальности "Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте". Самара: СамГАПС, 2006. Ч.1. 167 с.
 14. Бойник А.Б., Кошевой С.В., Панченко С.В., Сотник В.А. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах: учебное пособие / Украинская государственная академия железнодорожного транспорта. Харьков: УкрГАЖТ, 2005. 256 с.

15. Мороз В.П., Лапко А.О. Аналіз відмов пристроїв залізничної автоматики // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харків: УкрДАЗТ, 2007. Вип. 2(64). С.10-15.
16. Дунаев Д. В., Романцев И. О., Гаврилюк В. И. Анализ отказов и методы контроля рельсовых цепей // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2010. №32 С. 212-217.
17. Казиев, Г. Д., Адашкин В.М. Повышать надежность рельсовых цепей // Автоматика, телемеханика и связь. 2006. № 4. С. 2-5.
18. Кулик П.Д., Ивакин В.С., Удовиков А.А. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности. Киев: Издательский дом «Мануфактура», 2004. 288 с.
19. Федоров, Н.Е. Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями: учебное пособие. Самара: СамГАПС, 2004. 132 с.
20. Дмитриев, В.С., Минин В.А. Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты: учеб пособие для студентов высших учебных заведений железнодорожного транспорта. Москва:Транспорт, 1992. 182 с.
21. Кайнов В. М. Надежная работа устройств ЖАТ – первостепенная задача // Автоматика, связь, информатика. 2008. № 4. С. 4–9.
22. Манаков А. Д., Балугев Н. Н., Трошин А. А. Электромагнитная совместимость рельсовых цепей и электроподвижного состава // Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики. 2013. №1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/elektromagnitnaya-sovmestimost-relsovyh-tsepey-i-elektropodvizhnogo-sostava> (дата обращения: 02.04.2017)
23. Лисенков В.М., Ваньшин А.Е., Катков М.В. Методы повышения безопасности функционирования рельсовых цепей // Автоматика, связь, информатика. 2010. №4. С.8-10.

24. Бадер М.П. Электромагнитная совместимость [Текст]: учебник для вузов железнодорожного транспорта / М.П. Бадер .– М.: УМК МПС, 2002. – 638с.
25. Висин Н. Г., Забарило Д. А. Повышение электромагнитной совместимости рельсовых цепей с электроподвижным составом двойного питания с асинхронными тяговыми двигателями и тяговой сетью // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2012. №40 С.75-82
26. Михайлов А.Ф., Частоедов Л.А. Электропитающие устройства и линейные сооружения автоматики, телемеханики и связи железнодорожного транспорта: учебник для техникумов ж.-д. трансп.. Москва: Транспорт, 1987. 383 с.
27. Гаврилюк В.І. Модель впливу тягового струму на тональні рейкові кола // Електромагнітна безпека та сумісність на залізничному транспорті. 2011. №2. С.6-10.
28. Сердюк, Т.Н., Гаврилюк В.И. Взаимодействие системы тягового электроснабжения постоянного тока с рельсовыми цепями // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харьков: УкрДАЗТ. 2007. № 4. С.108-112.
29. Гончаров К.В. Исследование влияния импульсных помех на тональные рельсовые цепи // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпро: Видавництво ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2012. Вип. 40. С.161-166.
30. Разработка и внедрение новых технических средств ЖАТ // Евразия Вести: электрон. версия газ. 2005. №12.
URL:<http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2005-12a08> (дата обращения 10.05.2017).
31. ЦШ 0034: методичні вказівки з експлуатації тональних рейкових кіл. Київ: Державна адміністрація залізничного транспорту України, 2004. 44 с.

32. Ю. А. Кравцов Электромагнитная совместимость рельсовых цепей и электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом // Автоматика на транспорте. 2015. №1. С.7-27.
33. CENELEC DS/CLC/TS 50238-2:2010. Railway Applications – Compatibility Between Rolling Stock And Train Detection Systems. Part 2 : Compatibility With Track Circuits. ERTMS. 2010. 42 p.
34. Huang W., He Zh., Hu H., Wang Q. Study on Distribution Coefficient of Traction Return Current in HighSpeed Railway // Energy and Power Engineering. 2013. Vol. 5. Iss. 4. P. 1253–1258. doi: 10.4236/epe.2013.54B238.
35. Гаврилюк В.И., Щека В.И., Мелешко В.В. Испытания новых типов подвижного состава на электромагнитную совместимость с устройствами сигнализации и связи // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2015. №5 (59). С.7-15.
36. Завгородній О. В. Підвищення функціональної безпеки рейкових кіл шляхом забезпечення їх електромагнітної сумісності з тяговою мережею: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. Дніпро, 2011. 24 с.
37. Гаврилюк В.И., Завгородний А.В. Модель распределения гармоник тягового тока в рельсовой линии // Інформаційно-комп'ютерні системи на залізничному транспорті. 2009. №4. С. 40-43.
38. Романцев, И.О. Определение параметров и критериев для системы автоматического контроля состояний тональных рельсовых цепей // Электромагнітна безпека та сумісність на залізничному транспорті. 2011. №1. С.37-43.
39. Безродный Б.Ф., Денисов Б.П., Культин В.Б., Растегаев С.Н. Автоматизация расчетов и проверки параметров ТРЦ // Автоматика, связь, информатика. Москва: ОАО "Российские железные дороги", 2010. № 1. С. 15-17.

40. Zhang M. Railway track circuit fault diagnosis based on support vector machine with particle swarm optimization // 2013 International Conference on Electrical, Control and Automation Engineering, 1-2 dec. 2013. Lancaster: DEStech Publications, 2013. 662p.
41. Dong W. Fault diagnosis for compensating capacitors of jointless track circuit based on dynamic time warping // Mathematical Problems in Engineering. New York: Hindawi Publishing Corporation. Vol. 2014. P.2-13.
42. Zhao L.-H., Xu J.-J., Liu W.-N., Cai B.-G. Compensation capacitor fault detection method in jointless track circuit based on Levenberg-Marquardt algorithm and generalized S-transform // Control theory and applications. Guangzhou: South China University of Technology. Vol. 27(12). P. 1612-1617.
43. Oukhellou L., Debiolles A., Denoeux T., Aknin P. Fault diagnosis in railway track circuits using Dempster-Shafer classifier fusion // Engineering Applications of artificial intelligence. Laxenburg: IFAC. 2010. №23(1). P.117-128.
44. Bouillaut L., François O., Leray Ph., Aknin P., Dubois S. Dynamic Bayesian networks modelling maintenance strategies: Prevention of broken rails // Papers of the 8th World Congress on Railway Research (WCRR) (18-22, May 2008, Seoul, Korea) // International union of railways: website. URL: http://www.uic.org/cdrom/2008/11_wcrr2008/pdf/1.2.1.4.2.pdf (date of access 30.09.14)
45. Zhao L., Zhang C., Qui K., Li Q. A fault diagnosis method for the tuning area of jointless track circuits based on a neural network // Journal of Rail and Rapid Transit. Dorchester: Henry Ling Ltd. Vol. 227(4). P.333-343.
46. Chen J., Roberts C., Weston P. Fault detection and diagnosis for railway track circuits using neuro-fuzzy systems // Control engineering practice. Laxenburg: IFAC. 2008. №16(5). P.585-596.
47. Chen J., Roberts C., Weston P. Neuro-fuzzy fault detection and diagnosis for railway track circuits // 6th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision

and Safety of Technical Processes, 29 August - 1 September 2006. Laxenburg: IFAC. 2006. Vol.6. P.1366-1371.

48. Гончаров К.В. Сравнительный анализ методов модуляции и демодуляции сигналов контроля рельсовой линии // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Днепр: ДНУЖТ, 2012. № 42. С.12-19.
49. Костроминов А.М., Рыхсиев Д.Х. Защита приемника рельсовых цепей от помех с помощью импульсно-фазового анализатора // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2011. №5(36). С.68-70.
50. Гончаров, К.В. Корреляционный путевой приемник тональных рельсовых цепей // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2011. №38. С.188-193.
51. Щербина А.Е. Способ повышения устойчивости функционирования рельсовых цепей тональной частоты: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.22.08 "Управление процессами перевозок". Москва, 2011. 24с.
52. Тильк, И.Г. Развитие систем ЖАТ в свете внедрения стандарта IRIS // Автоматика, связь, информатика. Москва: ОАО "Российские железные дороги", 2012. Вып. 12 . С. 27-28.
53. Гончаров К.В. Синтез цифрового путевой приемника тональных рельсовых цепей // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. Днепр: ДНУЗТ, 2011. № 2. С.86-92.
54. Блачев К.Э. Имитационное моделирование цифрового приемника сигналов систем интервального регулирования движением поездов // Вестник Самарского государственного технического университета. 2008. № 2 (22). С.223-227.
55. Гончаров К. В. Методы защиты тональных рельсовых цепей от влияния импульсных помех // Наука и прогресс транспорта. Вестник

Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Днепр: ДНУЖТ, 2012. № 41. С.191-196.

56. Рельсовая цепь: пат. 2278046 Российская Федерация. МПК В 61 L 23/16. / Тарасов Е. М., Левченко А. С., Куров М. Б., Митрохин Ю. В., Тарасова Е. В., Волик В. Г.; заявитель и патентообладатель Самарская гос. акад. путей сообщ. № 2005100125/11 ; заявл. 11.01.2005 ; опубл. 20.06.2006, Бюл. № 17. 7 с.
57. Кравцов Ю. А., Нестеров В. Л., Лекута Г. Ф. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики. Москва: Транспорт, 1996. 400 с.
58. Гончаров К.В. Повышение устойчивости тональных рельсовых цепей в условиях флуктуаций сопротивления балласта // Наука та прогрес транспорту. 2013. №6(48). С.23-31.
59. Аркатов В.С, Аркатов Ю.В., Казеев С.В, Ободовский Ю.В. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник. Изд. 3-е, переработанное и дополненное. Москва: Издательство «ООО Миссия-М», 2006. 496с.
60. Гончаров К.В. Синтез цифровой модели тональной рельсовой цепи // Збірник наукових праць ДонІЗТ. Донецьк: ДонІЗТ, 2012. №32. С.39-47.
61. Тарасов Е.М. Математическое моделирование рельсовых цепей с распределенными параметрами рельсовых линий: учеб. пособие. Самара: СамГАПС, 2003. 118с.
62. Горелов Г.В., Фомин А.Ф., Волков А.А., Котов В.К. Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте: учеб. для вузов ж.-д. трансп. Москва: Транспорт, 2001. 415с.
63. Laughton M.A., Say M.G., Jones J.R., Clegg A.G. Electrical engineer's reference book. 16-th edition / edited by Laughton M.A. and D.F. Warne. Oxford: Newnes, 2003. 1504p.
64. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник. Изд. 10-е. Москва: Гардарики, 2000. 638с.

65. Саяпина И.А. Моделирование характеристик передачи сигналов тональной рельсовой цепи // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип.134. С. 173-181.
66. Саяпина І.О. Моделювання системи передачі сигналів на основі тональних рейкових кіл // Перспективні комп'ютерні, керуючі і телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України: тези доп. 25-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Алушта, вересень 2012 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2012. №4 (Додаток). С. 112.
67. Саяпина І.О. Моделювання тракту передачі сигналів у тональних рейкових колах // Зб. наук. праць: тези доп. 74-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип.129. С. 205.
68. Chaturvedi D.K. Modeling and simulation of systems using MATLAB and Simulink. Boca Raton: CRC Press, 2010. 733p.
69. Саяпина И.А. Проверка модели рельсовой цепи на адекватность // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 4(101). С. 31-36.
70. Ван дер Варден, Б.Л. Математическая статистика. Москва: Издательство иностранной литературы, 1960. 435 с.
71. Currell G., Dowman A. Essential mathematics and statistics for science. 2nd edition. Chichester: John Wiley & Sons, 2009. 387p.
72. Sheskin D.J. Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures. 2nd edition. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2000. 1002p.
73. Mann H. B., Whitney D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other // Annals of Mathematical Statistics. 1947. № 18. P. 50—60.
74. Лемешко, Б.Ю., Лемешко С.Б. Об устойчивости и мощности критериев проверки однородности средних // Измерительная техника. Москва: "Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия ", 2008. № 9. С.23-28.

75. Cochran W.G. The χ^2 test of goodness of fit // The annals of mathematical statistics.1952. №3(23). P.315-345.
76. Котельников А.В., Наумов А.В., Слободянюк Л.П. Рельсовые цепи в условиях влияния заземляющих устройств: учебное пособие. Москва: Транспорт, 1980. 207с.
77. Брылеев А.М., Кравцов Ю.А, Шишляков А.В. Теория, устройство и работа рельсовых цепей: учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта. Москва: Транспорт, 1978. 344 с.
78. Саяпина И.А. Исследование влияния электромагнитных помех на приемную аппаратуру тональных рельсовых цепей // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 3(100). С. 24-31.
79. Герман Л.А. Качество электрической энергии и его повышение в устройствах электроснабжения: конспект лекций; Ч.2. Москва: РГОТУПС, 2005, 56 с.
80. Васильев К.К., Глушков В.А., Дормидонтов А.В., Нестеренко А.Г. Теория электрической связи: учебное пособие / под общ. ред. К.К. Васильева. Ульяновск: УЛГТУ, 2008. 452 с.
81. Pool I. Basic Radio Principles and Technology. Oxford: Newnes, 2000. 224 p.
82. Гончаров К.В. Исследование влияния импульсных помех на тональные рельсовые цепи // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпро: Видавництво ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2012. Вип. 40. С.161-166.
83. ЦШ 0025: методичні вказівки з перевірки пристроїв автоблокування АБТ, АБТЦ і АЛСО перед включенням в експлуатацію на залізницях України. Київ: Укрзалізниця, 2003. 29 с.
84. Юсупов Р.Р. Цифровое устройство обработки сигналов автоматической локомотивной сигнализации повышенной помехозащищенности: автореф. дис канд техн. наук / СамГАПС. Самара, 2003. 24с.

85. Саяпіна І.О. Підвищення завадостійкості тональних рейкових кіл // Збірник наукових праць: тези доп. 75-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 136. С. 289-290.
86. Саяпина И.А. Повышение помехоустойчивости рельсовых цепей // Людина, суспільство, комунікативні технології: матеріали міжнародної наук.-практ. конф., (20-21 черв. 2013 р., м. Красний Лиман). Харків–Красний Лиман, 2013. С. 277.
87. Саяпіна І.О. Дослідження впливу завад на роботу тонального рейкового кола // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доп. 28-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, вересень 2015 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2015. №4 (Додаток). С. 52.
88. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: изд. 2-ое, испр: пер. с англ. Москва: Издательский дом Вильямс, 2007. 1104с.
89. Саяпина И.А. Нейросетевое моделирование аппаратуры рельсовых цепей // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 1(104). С. 83-87.
90. Саяпіна І.О. Нейромережеві моделі функціонування рейкових кіл // Зб. наук. праць: тези доп. 76-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 143. С. 233.
91. Саяпіна І.О. Нейромережева модель пристрою підвищення завадостійкості рейкових кіл // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доп. 27-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, вересень 2014 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2014. №4(Додаток). С. 60.
92. Саяпина И.А. Нейросетевая модель устройства повышения помехоустойчивости рельсовой цепи // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 3(106). С. 44-48.

93. Саяпіна І.О. Нейромережева модель заводо захищеного тонального рейкового кола // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 151. С. 59.
94. Саяпіна І.О. Підвищення заводостійкості тональних рейкових кіл з використанням нейронних мереж // Збірник наукових праць УкрДУЗТ: тези доповідей 78-ї міжнародної науково-технічної конференції (м. Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип.160. С. 30-31.
95. Саяпіна І.О. Метод адаптивного керування пристроєм підвищення заводостійкості ТРК // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доп. 29-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чорноморськ, вересень 2016 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2016. №4 (Додаток). С. 41-42.
96. Стрижов В.В. Методы индуктивного порождения регрессионных моделей. Москва: Вычислительный центр РАН, 2008. 61с.
97. Стрижов В.В., Крымова Е.А. Методы выбора регрессионных моделей. Москва: Вычислительный центр РАН, 2010. 60с.
98. Чепцов М.М., Блиндюк В.С., Кузьменко Д.М. Нейромережеве моделювання в системах керування на залізничному транспорті: монографія. Донецьк: “ДонІЗТ”, 2013. 143 с.
99. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. Изд. 2-е, испр. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. 1104 с.
100. Gallant S. Neural network learning and expert systems. Cambridge: The MIT Press, 1993. 364p.
101. Montavon G., Orr G.B., Müller K.-R. Neural Networks: tricks of the trade. 2nd edition. Berlin: Springer-Verlag, 2012. 761p.
102. Galushkin A.I. Neural Network theory. Berlin: Springer-Verlag, 2007. 396p.
103. Anthony M., Bartlett P.L. Neural network learning: theoretical foundations. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 389 p.

104. Гундырев К.В. Применение аппарата нейронных сетей для диагностирования и прогнозирования отказов элементов и устройств СЦБ // Молодые ученые - транспорту: труды V научно-технической конференции. Екатеринбург: УрГУПС, 2004. С.150-157.
105. Mohri M., Rostamizadeh A., Talwalkar A. Foundations of machine learning. Cambridge: The MIT Press, 2012. 414p.
106. Ильин В.А. Телеуправление и телеизмерение: учебное пособие. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва: Энергоиздат, 1982. 560 с.
107. Виноградова Ю.В., Ляхов А.Ф. Аппроксимация функции нейронной сетью практикум. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2009. 34с.
108. Vapnik V.N. The nature of statistical learning theory. 2nd edition. New-York: Springer-Verlag, 2000. 319p.
109. Круглов В.В., Борисов В.В. Гибридные нейронные сети. Смоленск: Русич, 2001. 224 с.
110. Levenberg, K. A. Method for the Solution of Certain Problems in Least Squares // Quarterly of Applied Mathematics. USA: Brown University, 1944. Vol. 2. P. 164-168.
111. Демиденко Е.З. Оптимизация и регрессия. Москва: Наука, 1989. 296с.
112. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация: пер. с англ. Москва: Мир, 1985. 509 с.
113. Demuth H., Beale M. Neural Network Toolbox: For use with Matlab. 7-th printing. Natick: The Math Works Inc., 2001. 840p.
114. Ranganathan A. The Levenberg-Marquardt Algorithm // Tutorial on LM Algorithm, 2004. P.1-5.
115. Beale M.H. Neural Network Toolbox: User's Guide: Electronic resource. URL: http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/nnet/nnet Ug.pdf (date of access 21.05.2017)
116. Foresee F.D., Hagan M.T. Gauss-Newton Approximation To Bayesian Learning // Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks. San Jose CA: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1997. P. 1930-1935.

117. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учеб. пособие для студентов вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва: Высшая школа, 1979. 400с.
118. Карпов И.В., Климович С.Г., Хляпов Л.И. Экономика, организация и планирование хозяйства сигнализации и связи: учебник для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. Москва: Маршрут, 2002. 436с.
119. Економічна енциклопедія: у 3 т. Т. 1 / укладач С.В. Мочерний та ін. Київ: Видавничий центр «Академія», 2000. 864 с.
120. Терешина Н.П., Галабурда В.Г., Трихунков М.Ф. и др. Экономика железнодорожного транспорта: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Под ред. Н.П. Терешиной, Б.М. Лapidуса, М.Ф. Трихункова. Москва: УМЦ ЖДТ, 2006. 801 с.
121. Алехина Г. А. Классификация основных концепций оценки человеческой жизни // Известия ТПУ. 2007. №6. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-osnovnyh-kontseptsiy-otsenki-chelovecheskoy-zhizni> (дата обращения: 21.05.2017).
122. Бойник А.Б., Самсонкин В.Н., Штомпель А.Н. Безопасность железнодорожных переездов: учебное пособие. Харьков: ХарГАЖТ, 2001. 58 с.
123. Астреина Л.А., Балдесов В.В., Беклешов В.К. и др. Техно-экономическое обоснование дипломных проектов: учеб. пособие для вузов / Под ред. В.К. Беклешова. Москва: Высшая школа, 1991. 176 с.

