

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

Романцев Іван Олегович

УДК 656.25:156.25

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТОНАЛЬНИХ
РЕЙКОВИХ КІЛ ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ЇХ
ПАРАМЕТРІВ**

Спеціальність: 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі «Автоматика, телемеханіка та зв'язок»
Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна Міністерства інфраструктури

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор
Гаврилюк Володимир Ілліч
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
завідувач кафедри «Автоматика, телемеханіка та зв'язок»

Офіційні опоненти: д.т.н., професор
Чепцов Михайло Миколайович,
Донецький інститут залізничного транспорту Української
державної академії залізничного транспорту
проректор з наукової роботи

кандидат технічних наук, доцент
Муха Андрій Миколайович
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
завідувач кафедри «Автоматизований електропривод»

Захист відбудеться “ 1 ” грудня 2011 р. о 13.00 годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному
університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою:
49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою:
49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2

Автореферат розіслано “ 28 ” жовтня 2011 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради

_____ І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Для забезпечення надійної роботи систем регулювання рухом поїздів існуюча технологія обслуговування рейкових кіл передбачає періодичний контроль їх параметрів в процесі експлуатації, що пов'язаний з виходом обслуговуючого персоналу на блок-дільниці та проведенням вимірів в ручному режимі, що пов'язана із значними часовими та експлуатаційними витратами, включає велику кількість ручних операцій. Визначення опору ізоляції баласту можливе тільки для рейкових кіл (РК) довжиною 300 м та більше, не враховуючи велику кількість тональних рейкових кіл (ТРК) з меншою довжиною, на частоті, що відрізняється від частоти сигнального струму. Опір ізоляції кабельної лінії, що доволі розповсюджена при центральному розміщенні апаратури, визначають тільки при відключенні апаратури від рейкової лінії, незважаючи на урахування в розрахунках опору жил кабельної лінії та ємності її ізоляції. Визначення кодового струму при відсутності ізолюючих стиків (ІС) не передбачене взагалі. Існуюча технологія обслуговування рейкових кіл не має змоги реалізувати контроль завчасного виходу електричного параметра за припустимі межі. Періодичний контроль електричних параметрів тонального рейкового кола не враховує розвиток та можливість комп'ютерних систем на базі мікропроцесорної техніки, а застосування дорогих релейно-контактних пристроїв та схем контролю не дає можливості оптимально використати кошти, що призначені на розвиток методів та засобів залізничної автоматики. Недоліки існуючої технології обслуговування тональних рейкових кіл значною мірою впливають на експлуатаційну роботу дільниць з прискореним та швидкісним рухом. Таким чином, удосконалення технології обслуговування тональних рейкових кіл шляхом автоматизації контролю їх параметрів є важливою науково-практичною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності зі Стратегією розвитку залізничного транспорту України до 2020 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 року). Обраний напрям дослідження відповідає Концепції комплексної програми розвитку залізничного транспорту України на 2007-2020р.

Дисертаційна робота пов'язана з планом виконання науково-дослідної роботи «Розробка та наукове обґрунтування технічних рішень по підвищенню безпеки руху на швидкісних магістралях шляхом автоматизації контролю та діагностування рейкових кіл» у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені В.Лазаряна (ДНУТ) на 2009 рік (номер державної реєстрації 0108U003066) розділи 1.2-1.3, 2, 3, 4.3-4.4, 5 виконані автором у якості виконавця.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення технічного обслуговування тональних рейкових кіл та зменшення експлуатаційних витрат шляхом автоматизації контролю їх параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз існуючих методів та засобів технічного обслуговування;

- розробити діагностичну модель зміни режимів роботи ТРК під дією внутрішніх та зовнішніх факторів в залежності від технічного стану рейкового кола та визначити ймовірнісні параметри переходів між станами системи;

- визначити щільності розподілу напруг та струмів на релейному та живильному кінцях тональних рейкових кіл в нормальному та шунтовому режимах в процесі їх експлуатації та встановити ймовірнісні характеристики виконання режимів роботи ТРК;

- вдосконалити математичну модель ТРК нормального та шунтового режимів при наближенні та проходженні поїзду через РК для врахування електричних процесів при одночасному протіканні в системі сигнального струму і струму локомотивної сигналізації;

- вдосконалити математичну модель ТРК для врахування впливу зовнішніх факторів на довжину зони додаткового шунтування;

- розробити алгоритми автоматичної обробки результатів вимірювань контрольних параметрів для визначення технічного стану ТРК;

- розробити методи та засоби безперервного автоматизованого контролю та діагностування тональних рейкових кіл з можливістю прогнозування передвідмовних станів;

- розробити дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів тональних рейкових кіл;

- розробити пропозиції по удосконаленню технічного обслуговування ТРК при використанні розробленого комп'ютерного контролюючого комплексу;

- провести техніко-економічне обґрунтування розробки.

Об'єкт дослідження – процес обслуговування тональних рейкових кіл та контроль їх параметрів.

Предмет дослідження – методи та засоби контролю технології обслуговування тональних рейкових кіл.

Методи досліджень. Результати дисертації отримані за допомогою методів математичного моделювання, числових методів, перетворення Фур'є, статистичного аналізу, моделювання з використанням апарату нечіткої логіки та штучних нейронних мереж:

- 1) математичне моделювання використане з метою створення математичних моделей електричних процесів в ТРК;
- 2) числові методи використані для математичного опису залежності напруги на вході колійного приймача від опору баласту в різних режимах за допомогою інтерполяції сплайнами;
- 3) перетворення Фур'є використано для визначення діючого значення змінної напруги несучої та бокових частот сигнального струму;
- 4) методи статистичного аналізу використані для обґрунтування можливості вирішення задачі удосконалення технічного обслуговування рейкових кіл шляхом впровадження системи автоматичного контролю їх параметрів;
- 5) апарат нечіткої логіки використаний для створення ймовірнісної системи діагностування тональних рейкових кіл та визначення

граничних величин контролю завчасного виходу електричних параметрів за допустимі межі;

- б) методи моделювання з використанням апарату штучних нейронних мереж використані для побудови автоматизованого апаратно-програмного комплексу контролю параметрів тональних рейкових кіл шляхом автоматичного виявлення максимального наближення ознак до відповідних технічних станів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розвитку існуючих та розробці нових моделей та методів аналізу технічного стану ТРК, встановленні залежностей між їх параметрами та внутрішніми та зовнішніми факторами, що впливають на їх роботу, на основі яких проведено наукове обґрунтованих методів, що удосконалюють технологію обслуговування тональних рейкових кіл шляхом автоматизації контролю їх параметрів, а саме:

вперше розроблено діагностичну модель режимів роботи ТРК, на котру впливають внутрішні та зовнішні фактори, в залежності від технічного стану рейкового кола та визначено ймовірнісні параметри переходів між станами системи, що дозволило скласти формальну процедуру пошуку несправностей ТРК;

вперше визначено щільності розподілу напруг і струмів на релейному та живильному кінцях тональних рейкових кіл в нормальному й шунтовому режимах в процесі їх експлуатації та встановлені ймовірнісні характеристики виконання режимів роботи ТРК, що дозволило розробити систему автоматизованого контролю технічного стану рейкових кіл з можливістю прогнозування передвідмовних станів;

вдосконалено математичну модель ТРК нормального і шунтового режимів при наближенні та проходженні поїзду через РК, що відрізняється від існуючих врахуванням електричних процесів при одночасному проходженні в системі сигнального струму і струму локомотивної сигналізації, що дало можливість розробити метод визначення первинних параметрів рейкової та кабельної лінії;

вдосконалено математичну модель ТРК, яка відрізняється від існуючих врахуванням впливу зовнішніх факторів на довжину зони додаткового шунтування, що дало можливість розробити метод контролю параметрів струму локомотивної сигналізації і дистанційного визначення з поста централізації швидкості та положення поїзду на рейковій лінії.

Достовірність одержаних результатів, висновків та рекомендацій обумовлена експериментальними дослідженнями та коректним застосуванням законів електротехніки і математичних методів. Адекватність побудованих математичних моделей та достовірність отриманих на їх основі нових наукових результатів обумовлена задовільним співпадінням отриманих методів з результатами експериментальних досліджень, проведених автором роботи а також та опублікованими літературними даними.

Практичне значення одержаних результатів. Здобуті в дисертації наукові результати дозволили розробити метод автоматичного контролю технічного стану тональних рейкових, який може бути використаний в системах автоматичного

блокування, електричної централізації, гіркової централізації, диспетчерського керування та ін. Результати наукових досліджень, проведених в роботі, дозволили:

- розробити та виготовити автоматизований апаратно-програмний комплекс безперервного контролю і діагностування тональних рейкових кіл що дозволяє контролювати 10 електричних параметрів рейкових кіл;
- вдосконалити технологію обслуговування тональних рейкових кіл, завдяки чому зменшуються поточні експлуатаційні витрати та підвищується ефективність технічного обслуговування систем залізничної автоматики.

Основні результати досліджень впроваджені на залізничній станції “Баглій” (ДП “Придніпровська залізниця” м. Дніпродзержинськ), та в навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Економічний ефект від впровадження системи автоматизованого контролю стану тональних рейкових кіл для однієї дистанції сигналізації та зв'язку складає 1149,88 грн. на 1 км колії за рік, а строк окупності впроваджуваного комплексу біля одного року.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, наведені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто або безпосередньо з його участю. Обробка отриманого матеріалу, формулювання наукових положень і висновків, підготовка публікацій і доповідей також проводились автором особисто. Постановку мети та задач дослідження виконано спільно з науковим керівником. Усі положення та результати, що виносяться на захист, приведені в роботах [1-14]. В роботах, що опубліковані у співавторстві, дисертанту належать: визначення факторів, які слід враховувати під час вибору діагностичних параметрів [1]; приведення та обробка статистичних даних по відмовах пристроїв автоматики [2], наукове обґрунтування вибраних діагностичних параметрів [1]; проведення аналізу технічних перевірок електричних параметрів тональних рейкових кіл [2], що виконуються під час періодичного контролю пристроїв залізничної автоматики на станції та перегоні, на основі проведеного аналізу запропоновано математичні моделі [4-9] функціонування та структурну схему автоматизованого пристрою контролю основних та додаткових параметрів тонального рейкового кола [1], що дозволяє проводити виміри без закриття руху [5-9, 10, 12-14] по блок-ділянцям або відповідним коліям; логічна організація завчасного контролю відмовних станів; аналіз спектрального складу [3] сигнального струму в справному стані рейкових кіл; проведення експериментальних вимірювань для визначення відповідних електричних параметрів в різних станах тональних рейкових кіл [12, 13]; розроблена структура системи діагностики і контролю стану тональних рейкових кіл в комплексі [10], а також проведено розрахунок економії часу обслуговуючим персоналом при її використанні; виконано математичний опис ймовірностей станів та параметрів системи діагностування [1, 10].

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися і були схвалені на:

- Міжнародній науково-практичній конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2008).

- II Міжнародній науково-практичній конференції «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті (EMC-R 2010)» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2010).

В повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі кафедр «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», «Автоматизований електропривод», «Електропостачання залізниць», «Електрорухомий склад», «Локомотиви», «Станції та вузли», «Управління експлуатаційною роботою», «Фізика» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна 21.06.2011 р.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 6 основних та 8 додаткових наукових праць: 4 – у наукових журналах і збірниках наукових праць, рекомендованих ВАК України за фахом 05.22.20 - експлуатація та ремонт засобів транспорту, і 5 патенти; 5 – у матеріалах і тезах міжнародних конференцій та симпозіумів.

Структура й обсяг дисертації. Загальний зміст дисертації складає 149 сторінки, з них обсяг тексту 135 сторінок. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури (121 джерело), додатків, ілюстрована 18 таблицями та 58 рисунками.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульована мета та задачі дослідження. Розглянуто зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Відображена наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. Наведено відомості про апробації та публікації результатів досліджень.

У першому розділі приведена статистика відмов пристроїв сигналізації централізації та блокування (СЦБ), аналіз відмов рейкових кіл, експлуатаційні та технічні вимоги до тональних рейкових кіл в системах автоматики залізничного транспорту, наведено огляд існуючої технології обслуговування (ТО) тональних рейкових кіл та контролю їх параметрів, а також аналіз систем контролю та діагностики що знаходяться в експлуатації на даний час.

Значний вклад в розвиток теорії та розробку систем контролю та діагностування рейкових кіл тональної частоти внесли такі вчені: В. С. Аркатов, М. П. Бадьор, А. Б. Бойнік, А. М. Брилеєв, В. І. Гаврилюк, В. С. Дмитрієв, Н. Ф. Котляренко, Ю. А. Кравцов, П. Д. Кулік, А. С. Переборов, Ю. І. Полевой, А. П. Разгонов, В.В. Сапожніков, Вл.В. Сапожніков, А. М. Сафарбаков, М.М. Чепцов, А. В. Шишляков та ін.

Показано, що на рейкові кола припадає найбільша кількість відмов, і це впливає на безпеку руху поїздів. Існуюча технологія обслуговування потребує значних затрат ручної праці та часу; не дозволяє організувати безперервний автоматичний контроль та завчасне виявлення можливих відхилень параметрів від нормативних значень, не визначає деякі необхідні електричні параметри, що впливають на роботу тонального рейкового кола.

Проведено аналіз технічного обслуговування тональних рейкових кіл та використовуваних методів та приладів контролю та діагностування. Розглянуті причини виникнення відмов в рейкових колах. Стає очевидною необхідність

створення системи, що зменшить навантаження робочого персоналу та ревізій, витрати часу та суб'єктивність при організації технології обслуговування; прискорить пошук відмов, а також допоможе не тільки своєчасно їх виявляти, але й прогнозувати можливі відмови.

Час, що затрачують на контроль параметрів рейкових кіл, визначають як суму складових часу при поточному обслуговуванні:

$$t_K = t_{OP} + t_{OB} + t_{ПЗ} + t_{ПРТ} + t_{ПРФ}, \quad (1)$$

де t_K – загальний час, призначений на контроль параметрів рейкового кола; t_{OP} – час, призначений безпосередньо на обслуговування (проведення вимірів, пересування до місця їх проведення); $t_{ПЗ}$ – час, затрачуваний на підготовку до вимірів, збирання тощо; t_{OB} – обслуговування робочого місця; $t_{ПРТ}$ – час, призначений на технологічну перерву; $t_{ПРФ}$ – час на фізіологічні перерви.

Проведено аналіз розроблених та перспективних методів та приладів на їх основі, що можуть використовуватись або вже присутні в технології обслуговування для контролю та діагностування тональних рейкових кіл. По результатам аналізу можна зробити наступні висновки: серед всіх перерахованих вище систем та переглянутих джерел немає методів неперервного контролю усіх зазначених електричних параметрів рейкового кола, що приводить до необхідності застосування допоміжних приладів, їхнього комбінування з іншими системами в технології обслуговування. Застосування апарата діагностування відносно стану рейкових кіл відсутній, незважаючи на те, що в деяких випадках системи передбачають виявлення передвідмовного стану параметрів (не рейкового кола). Існуюча технологія обслуговування використовує застарілі прилади для контролю параметрів рейкового кола та частково автоматизовані методики контролю їх параметрів. Ряд контрольних параметрів визначають тільки для одного рейкового кола (у певний момент часу) з великою часовою різницею і не що в повному обсязі згідно технології обслуговування, завдяки чому неможливо проводити комплексний аналіз стану рейкових кіл. Вартість апаратури, що пропонується, також є великим недоліком для його масового застосування в системі технічного обслуговування апаратури СЦБ. Частина приладів реалізує автоматизацію існуючої методики вимірів параметрів рейкового кола, що приводить до зниження експлуатаційних показників контрольованих елементів (жил кабелю) і визначає лише частку необхідної інформації про кабельну лінію.

Використання жодної з існуючих систем або методів не дозволяє автоматично виявляти відмови. Це не дає змоги виконувати контроль великої кількості електричних параметрів великої кількості тональних рейкових кіл без затрат часу обслуговуючого персоналу. В існуючих системах також відсутня автоматична реєстрація та комплексний аналіз відмов без участі людини, що надало б можливість одержувати повну, об'єктивну та своєчасну картину стану рейкових кіл.

Таким чином, для удосконалення технічного обслуговування тональних рейкових кіл необхідно розробити нові методи та засоби контролю електричних параметрів на сучасній елементній базі з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій та з автоматичним визначенням відмов та передвідмовних станів.

У другому розділі приведено: вибір електричних параметрів для контролю тонального рейкового кола, виходячи зі його властивостей, умов експлуатації та

особливостей розрахунку; сформована математична модель ТРК у просторі станів, вказані взаємодії станів з урахуванням режимів роботи; визначені ознаки електричних параметрів за допомогою критеріїв спрощення (дискретизації); враховані технічні властивості апаратури при визначенні стану рейкового кіл, науково обґрунтована ймовірнісна методика визначення граничних значень для контролю передвідмовних станів шляхом контролю завчасного виходу параметрів за встановлені межі.

При виборі значимих електричних параметрів для автоматизованого (або автоматичного) контролю електричних параметрів ТРК необхідно врахувати ті, що контролюють при поточному обслуговуванні, для спрощення процесу з проведення вимірів автоматизованою системою контролю. При цьому, якщо відомі припустимі значення електричних параметрів, то контрольовані параметри можна охарактеризувати дискретними ознаками за критеріями, що вказують на приналежність даного параметра певному інтервалу (дозволенному або заборонному). З урахуванням цього, до електричних параметрів тонального рейкового кола відносять наступні (у дужках вказані дискретні ознаки відповідних електричних величин): напруга на виході генератора U_{Γ} (k_1); напруга на виході фільтра U_{Φ} (k_2); напруга на вході колійного приймача $U_{\Pi\Pi}$ ($k_{31} \dots k_{37}$); напруга на обмотці колійного реле $U_{\Pi\Pi\Gamma}$ ($k_{41} \dots k_{44}$); напруга пульсації струму електроживлення генератора $U_{\Pi\Gamma\Gamma}$ (k_5); залишкова напруга на вході колійного приймача при накладенні шунта $U_{\text{ОП}\Pi}$ ($k_{31} \dots k_{37}$); залишкова напруга на обмотці колійного реле при накладенні шунта $U_{\text{ОП}\Gamma}$ ($k_{41} \dots k_{44}$); напруга кодового трансформатора $U_{\text{КТ}}$ (k_6); напруга мережі живлення $U_{\Pi\Gamma}$ (k_7); опір баласту $R_{\text{Б}}$ (k_8). Визначення ознак електричних параметрів є ключовими для розробки пристроїв контролю з програмним керуванням у зв'язку з тим, що вони забезпечують високу швидкість та об'єктивність отримання даних порівняно з ручними пристроями контролю [1, 10, 12].

На основі отриманих дискретних ознак електричних параметрів та з урахуванням режимів роботи тонального рейкового кола розроблена математична модель у просторі станів (рис. 1).

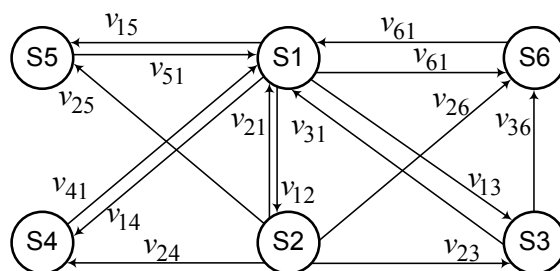


Рис. 1. Математична модель тонального рейкового кола.

На рис 1 зображені стани: S1 – РК справне й працює в нормальному режимі; S2 – РК справне та працює в шунтовому режимі з АЛСН; S3 – РК працює в шунтовому режимі, система АЛСН не працює; S4 – РК несправне й працює в контрольному режимі; S5 – у РК на рейковій лінії несанкціоноване замикання рейок; S6 – рейкове коло перебуває в підконтрольному стані, основні функції можуть виконуватися, необхідно перевірити значення контрольованих електричних параметрів. Виходячи з математичної моделі ТРК сформовані її функції контролю.

У результаті опису критеріями всіх контрольованих параметрів складена булева функція контролю FK , яка описує справний стан рейкового ланцюга. Дана функція приймає значення "1" при знаходженні всіх підконтрольних параметрів у межах норми:

$$FK = k_1 \wedge k_2 \wedge (k_{32} \cup k_{33} \cup k_{34}) \wedge k_{42} \wedge k_5 \wedge k_6 \wedge k_7 \wedge k_8 \cup k_1 \wedge k_2 \wedge k_{36} \wedge k_{44} \wedge k_5 \wedge k_6 \wedge k_7 \wedge k_8 \wedge k_9, \quad (2)$$

де FK - функція контролю; $k_1 - k_8$ - критерії контрольованих параметрів; k_9 - допоміжний критерій, що вказує на стан реле послідовної зайнятості рейкового кола.

Для системи контролю передбачена сигналізація одиночних несправностей, що описують відповідною функцією найпростіших станів несправностей (табл.1).

Таблиця. 1

Функції елементарних несправностей ТРК

№ функції несправності	Ознаки								
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9
FR1	0	x	x	x	x	x	1	x	x
FR2	1	0	x	x	x	x	1	x	x
FR3	1	1	k_{31}	x	x	x	1	x	x
FR4	x	x	k_{35}	x	x	x	1	1	x
FR5	x	x	k_{37}	x	x	x	1	x	x
FR6	1	1	$k_{32} \cup k_{33} \cup k_{34}$	x	x	x	1	x	1
FR7	1	1	k_{36}	x	x	x	1	x	0
FR8	x	x	x	k_{41}	x	x	1	x	x
FR9	x	x	x	k_{43}	x	x	1	x	x
FR10	x	x	x	x	0	x	1	x	x
FR11	x	x	x	x	x	0	1	x	x
FR12	x	x	x	x	x	x	0	x	x
FR13	x	x	x	x	x	x	x	0	x

У таблиці 1 знаком "x" відмічене, що дана ознака не відіграє ролі при визначенні цієї несправності. З аналізу таблиці 1 видно, що кожна вказана несправність визначена відповідним набором дискретних ознак параметрів ТРК. Загальну функцію несправності FR визначають в залежності від вказаних ознак електричних параметрів ТРК:

$$FR = \bar{k}_1 \cup \bar{k}_2 \cup k_{31} \cup k_{35} \cup k_{37} \cup k_9 \wedge (k_{32} \cup k_{33} \cup k_{34}) \cup \bar{k}_9 \wedge k_{36} \cup k_{41} \cup k_{43} \cup \bar{k}_5 \cup \bar{k}_6 \cup \bar{k}_7 \cup \bar{k}_8. \quad (3)$$

Додатково вказані вектори переходів станів, приведена мінімізація станів та векторів переходу. Вказаний процес отримання вихідних даних з прикладом часових залежностей електричних параметрів, що контролюють.

Далі в цьому ж розділі приведена необхідність використання ймовірнісних характеристик параметрів тонального рейкового кола, приведений метод їх визначення та приклад отримання зі статистичних даних по ймовірнісним формулам. Складена діагностична таблиця умовних станів, вказані межі розпізнавання ймовірнісного стану. Обґрунтовані межі знаходження електричних

параметрів тонального рейкового кола за отриманим законом розподілу по заданій ймовірності знаходження. Отримані ймовірнісні граничні значення зведені в таблицю з граничними значеннями згідно технології обслуговування (ТО). Завдяки цьому отримана можливість формування стану, що завчасно характеризує вихід електричного параметра за межі, встановлені ТО.

В третьому розділі приведено: математична модель залежності електричних напруг від опору ізоляції баласту, за допомогою котрої розроблений та обґрунтований метод автоматизованого визначення опору ізоляції баласту; математична модель залежності електричних напруг від кодового струму, за допомогою котрої розроблений та обґрунтований метод автоматизованого визначення струму локомотивної сигналізації; математичні моделі залежності електричних напруг від параметрів кабельної та рейкової ліній, за допомогою котрої розроблений та обґрунтований метод автоматизованого визначення електричних параметрів кабельної та рейкової ліній; дослідження характеру перешкоди в рейковій лінії, на основі котрого розроблений метод контролю прийняття рішень колійним приймачем з прогнозування зміни сигналу на його вході; метод автоматизованого визначення вхідного опору колійного приймача в процесі експлуатації; формування технологічних карт для удосконалення технології обслуговування тональних рейкових кіл при використанні приведених вище методів автоматизованого визначення електричних параметрів тонального рейкового кола.

Визначення параметрів системи передачі сигналів. При урахуванні нормативних значень параметрів кабельної лінії опір ізоляції рейкової лінії можна визначити при вимірі напруг на живильному та релейному кінці рейкового кола. В даному випадку первинні параметри рейкового кола безпосередньо визначають зі вторинних. У свою чергу, вторинні параметри визначають з математичної моделі

$$\begin{cases} \dot{U}_{\Phi} = \underline{A}(\underline{Z}_{\Phi}, \gamma) \cdot \dot{U}_{\Pi\Pi} + \underline{B}(\underline{Z}_{\Phi}, \gamma) \cdot \dot{U}_{\Pi\Pi} / \underline{Z}_{\Pi\Pi}, \\ \dot{U}_{\text{АЛС}} \cdot j \cdot \omega \cdot C_{\text{АЛС}} = \underline{C}(\underline{Z}_{\Phi}, \gamma) \cdot \dot{U}_{\Pi\Pi} + \underline{D}(\underline{Z}_{\Phi}, \gamma) \cdot \dot{U}_{\Pi\Pi} / \underline{Z}_{\Pi\Pi}, \end{cases} \quad (4)$$

де $\dot{U}_{\Phi}$ - напруга на виході колійного фільтру, $\dot{U}_{\Pi\Pi}$ - напруга на вході колійного приймача, $\dot{U}_{\text{АЛС}}$ та $C_{\text{АЛС}}$ - напруга на ємності автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) та її значення, ω - циклічна частота, $\underline{A}(\underline{Z}_{\Phi}, \gamma)$, $\underline{B}(\underline{Z}_{\Phi}, \gamma)$, $\underline{C}(\underline{Z}_{\Phi}, \gamma)$ та $\underline{D}(\underline{Z}_{\Phi}, \gamma)$ - параметри 4-полюсника [5], що включає в себе апаратуру між колійним фільтром та колійним приймачем КП.

Для обґрунтування математичної моделі та розробленого методу проведено визначення опору баласту з урахуванням нормативних значень параметрів кабельної лінії (технологія обслуговування та автоматизований метод) вказані статистичні дані та зведена таблиця результатів.

Результати визначення опору баласту

Довжина рейкової лінії, м	200	200	300	300	634
Частота несуча, Гц	720	720	780	780	420
Частота модуляції, Гц	12	12	8	8	12
Напруга на КП, В	0,47	0,51	0,54	0,54	0,55
Математичне сподівання опору баласту за прибором ИСБ, Ом·км	2,05	2,03	2,08	2,08	2,14

Згідно даних з таблиці результатів, максимальна похибка визначення опору ізоляції баласту складає 8,4%.

Визначення струму локомотивної сигналізації непрямим методом. Суть методу полягає в тому, що при подачі кодів АЛС у рейкову лінію здійснюється при занятті рухомою одиницею даного рейкового кола. Однак, на перегоні при відсутності ізолюючих стиків (ІС) фіксація зайнятості РК відбувається при фактичній вільності ділянки колії, що обумовлене наявністю зони додаткового шунтування [6]. Таким чином, кодування поїзда здійснюється в момент вільності колії в районі релейного або живильного кінця (залежно від напрямку руху на перегоні), і сигнал АЛС частково (протягом проходження рухливою одиницею ЗДШ) устигає сприйнятися на живильному або релейному кінці відповідно (рис. 2).

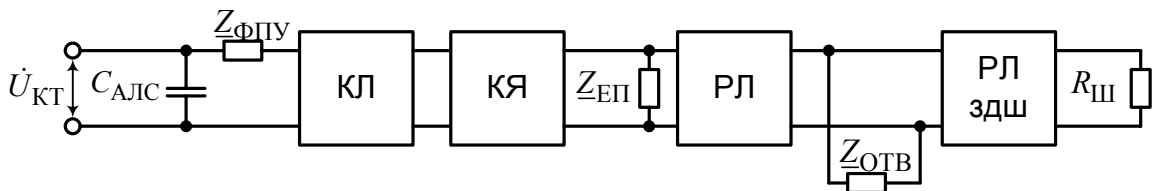


Рис. 2. Схема проходження сигналу при вступі поїзда на зону додаткового шунтування

На рис. 2 зображено: КЛ, КЯ, РЛ, РЛздш - чотириполосники кабельної лінії (КЛ), колійного ящика (КЯ), рейкової лінії (РЛ), зони додаткового шунтування (ЗДШ) відповідно; $Z_{ФПУ}$ - опір фільтра ФПУ для сигналу із частотою кодового струму; $Z_{ЕП}$ - еквівалентний опір, що враховує відсутність ІС на живильному кінці; $Z_{ОТВ}$ - опір релейного кінця.

При кодуванні, що організоване з боку живильного кінця, поїзд вступає спочатку на релейний кінець РК. Завдяки тому, що на опорі $Z_{ОТВ}$ відгалужується частина струму, з'являється напруга на релейному кінці (рис. 3).

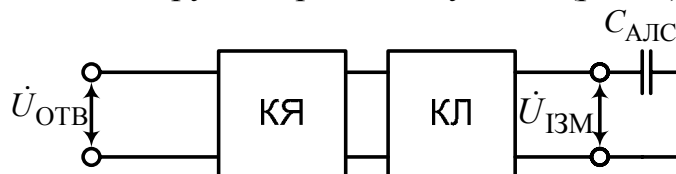


Рис. 3. Схема заміщення опору $Z_{ОТВ}$

При визначенні опору $Z_{ОТВ}$ приймають наступні скорочення: $\dot{U}_{ОТВ}$ - напруга, що падає на $Z_{ОТВ}$; $\dot{U}_{ІЗМ}$ - напруга, яку можна виміряти для виділення частоти кодового струму й визначення величини струму АЛС у рейковій лінії. Опір КП на

даній частоті буде дорівнює нулю, що обумовлено вхідним контуром, що настроєний на резонанс струмів [21], завдяки чому визначають напругу $\dot{U}_{\text{ОТВ}}$:

$$\begin{cases} \dot{U}_{\text{ОТВ}} = \underline{A}_{\text{РЛЗдш}} \cdot \dot{I}_{\text{ш}} \cdot R_{\text{ш}} + \underline{B}_{\text{РЛЗдш}} \cdot \dot{I}_{\text{ш}}, \\ \dot{U}_{\text{ОТВ}} = \underline{A}_{\text{ОТВ}} \cdot \dot{U}_{\text{ІЗМ}} + \underline{B}_{\text{ОТВ}} \cdot \frac{\dot{U}_{\text{ІЗМ}}}{\underline{Z}_{\text{с}}}, \end{cases} \quad (5)$$

де $\underline{A}_{\text{РЛЗдш}}$ і $\underline{B}_{\text{РЛЗдш}}$ – коефіцієнти 4-полюсника ЗДШ; $\underline{A}_{\text{ОТВ}}$ і $\underline{B}_{\text{ОТВ}}$ – коефіцієнти 4-полюсника КЯ й КЛ релейні кінці РК; $\dot{I}_{\text{ш}}$ і $R_{\text{ш}}$ – значення струму АЛС і опору шунта; $\underline{Z}_{\text{с}}$ – повний опір конденсатора АЛС.

Після прирівнювання правих частин вищевказаної системи визначають шукану залежність напруги $\dot{U}_{\text{ІЗМ}}$ для визначення кодового струму

$$\dot{I}_{\text{ш}} = \frac{\dot{U}_{\text{ІЗМ}} \cdot (\underline{A}_{\text{ОТВ}} + \underline{B}_{\text{ОТВ}} / \underline{Z}_{\text{с}})}{\underline{A}_{\text{РЛЗдш}} \cdot R_{\text{ш}} + \underline{B}_{\text{РЛЗдш}}} = \dot{U}_{\text{ІЗМ}} \cdot \underline{k}_{\text{ТКТ}}, \quad (6)$$

де $\underline{k}_{\text{ТКТ}}$ – коефіцієнт передачі кодового струму, що визначається таким чином

$$\underline{k}_{\text{ТКТ}} = \frac{\underline{A}_{\text{ОТВ}} + \underline{B}_{\text{ОТВ}} \cdot j \cdot \omega \cdot C_{\text{АЛС}}}{\underline{A}_{\text{РЛЗдш}} \cdot R_{\text{ш}} + \underline{B}_{\text{РЛЗдш}}}, \quad (7)$$

де ω – частота кодового струму.

Для розрахункового рейкового ланцюга за результатами вимірів значення кодових струмів дорівнюють 2,58А на шунті при визначенні за технологією обслуговування, і 2,38А при автоматизованому визначенні. Відхилення від середньо визначеної величини складає 0,14 та 0,017 А при абсолютній похибці 7,5 %.

Визначення параметрів кабельної лінії. Кількість параметрів кабельної лінії релейного та живильного кінця рейкового кола, що присутні у якості нормативних, ускладнює їх визначення за формулою (3). Таким чином, параметри 4-полюсника $\underline{A}(\underline{Z}_{\text{в}}, \gamma)$, $\underline{B}(\underline{Z}_{\text{в}}, \gamma)$, $\underline{C}(\underline{Z}_{\text{в}}, \gamma)$ та $\underline{D}(\underline{Z}_{\text{в}}, \gamma)$ додатково залежать від опорів кабельних ліній живильного та релейного кінця рейкового кола, і визначення шістьох невідомих з двох рівнянь неможливо [9, 13, 14].

За рахунок того, що при розв’язанні даної задачі кількість невідомих величин у системі рівнянь перевищує кількість обчислених, то визначення всіх первинних параметрів КЛ і РЛ можливо тільки при внесенні зміни в структуру ТРК. Для цього запропоновано враховувати пасивну зміну стану РК як об’єкта контролю при послідовному проходженні рухомого складу по перегону (рис. 4).

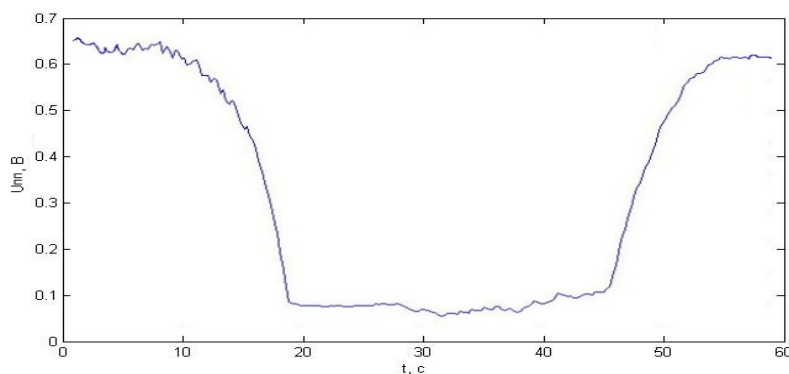


Рис. 4. Зміна амплітуди модульованого сигналу при проходженні рухомого складу.

Додатково, при проходженні рухливого складу синхронно контролюють такі величини: напруги $\dot{U}_Г$ і $\dot{U}_{ПП}$, повний опір або струм навантаження генератора.

Методика визначення первинних параметрів кабельної лінії живильного й релейного кінців, а також параметрів рейкової лінії складається з таких етапів:

- 1) Проводять синхронний запис зазначених електричних сигналів з моменту вільного РК до вступу рухомого складу до моменту його повного звільнення;
- 2) Визначають необхідні значення величин у момент вільного РК, а також зайнятої при наявності шунта на живильному та релейному кінці (18 і 46 с. по рис. 4);
- 3) Визначають первинні параметри КЛ живильного кінця при наявності шунта в точці її підключення до РЛ;
- 4) Визначають первинні параметри РЛ і КЛ релейного кінця. При цьому використовуються дані електричних сигналів при наявності шунта на релейному кінці та при вільному РК.

При наявності шунта на живильному кінці опір навантаження генератора практично не залежить від первинних параметрів рейкової лінії й кабельної лінії релейного кінця. Спрощена еквівалентна схема для розрахунків первинних параметрів кабельної лінії живильного кінця зазначена на рис. 5.

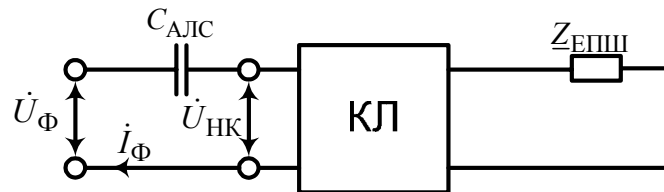


Рис. 5. Схема для розрахунку параметрів кабелю

При розрахунку параметрів КЛ прийняті наступні скорочення: $\dot{U}_\Phi, \dot{I}_\Phi$ – напруга й струм на виході фільтра; $\dot{U}_{НК}$ – напруга на вході кабельної лінії живильного кінця $Z_{ЕПШ}$ – опір, еквівалентний 4- полюснику КЯ із шунтом у якості навантаження,

Отримана математична модель визначає пряму залежність струму на виході фільтра від параметрів кабельної лінії живильного кінця ТРК:

$$\dot{I}_\Phi = \frac{\dot{U}_{НК}}{(\underline{Z}_B)_{КП}} \cdot \frac{\underline{Z}_{ЕПШ} \cdot th(\gamma \cdot l)_{КП} + (\underline{Z}_B)_{КП}}{\underline{Z}_{ЕПШ} + (\underline{Z}_B)_{КП} \cdot th(\gamma \cdot l)_{КП}}, \quad (8)$$

де $\underline{A}(\underline{Z}_B, \gamma)_{КП}, \underline{B}(\underline{Z}_B, \gamma)_{КП}, \underline{C}(\underline{Z}_B, \gamma)_{КП}, \underline{D}(\underline{Z}_B, \gamma)_{КП}$ – параметри 4- полюсника, котрі є функціями від вторинних параметрів кабельної лінії живильного кінця тонального рейкового кола.

Відповідно одній отриманій формулі (7) неможливо знайти вторинні й первинні параметри без додаткових досліджень по їхньому впливу на вихідний струм фільтра. Для практичного визначення складено додаткове рівняння, яке враховує наявність кодового струму на живильному кінці РК (рис. 6).

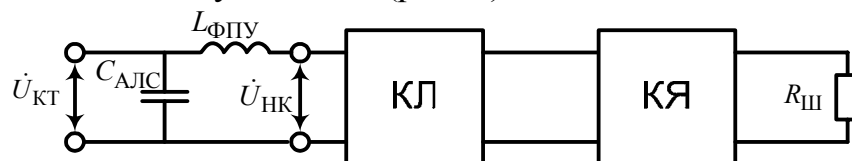


Рис. 6. Схема для розрахунків параметрів кабельної лінії на частоті кодового струму

На рис. 6 вказане значення $L_{\text{ФПУ}}$ являє собою зворотний вхідний опір фільтра кодовому струму. Для розрахунку параметрів кабельної лінії використовується система рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{U}_{\text{КТ}} = \dot{U}_{L\text{ФПУ}} + \left(ch(\gamma \cdot l)_{\text{КП}}^{\text{К}} + (\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}}^{\text{К}} \cdot sh(\gamma \cdot l)_{\text{КП}}^{\text{К}} / \underline{Z}_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} \right) \cdot \dot{U}_{\text{ЕПШ}}, \\ \dot{I}_{\text{Ф}} = \frac{\dot{U}_{L\text{ФПУ}}}{\underline{Z}_{L\text{ФПУ}}} = \left(\frac{\underline{Z}_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} \cdot sh(\gamma \cdot l)_{\text{КП}}^{\text{К}} + ch(\gamma \cdot l)_{\text{КП}}^{\text{К}}}{(\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}}^{\text{К}}} \right) \cdot \dot{I}_{\text{ЕПШ}}, \end{cases} \quad (9)$$

де $\dot{U}_{L\text{ФПУ}}$ – напруга на зворотному вихідному опорі фільтра, коефіцієнти $\underline{A}(\underline{Z}_{\text{В}}, \gamma)_{\text{КП}}^{\text{К}}$, $\underline{B}(\underline{Z}_{\text{В}}, \gamma)_{\text{КП}}^{\text{К}}$, $\underline{C}(\underline{Z}_{\text{В}}, \gamma)_{\text{КП}}^{\text{К}}$, $\underline{D}(\underline{Z}_{\text{В}}, \gamma)_{\text{КП}}^{\text{К}}$ є параметрами 4-полюсника КЛ живильного кінця на частоті кодового струму.

При діленні першого рівняння на друге у вищевказаній формулі одержимо:

$$\frac{\dot{U}_{\text{ЕПШ}}}{\dot{I}_{\text{ЕПШ}}} = \underline{Z}_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} = \frac{\dot{U}_{\text{КТ}} - \dot{U}_{L\text{ФПУ}}}{\dot{U}_{L\text{ФПУ}}} \cdot \underline{Z}_{L\text{ФПУ}} \cdot \frac{th(\gamma \cdot l)_{\text{КП}}^{\text{К}} \cdot (\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}}^{\text{К}} / \underline{Z}_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} + 1}{th(\gamma \cdot l)_{\text{КП}}^{\text{К}} \cdot \underline{Z}_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} / (\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}}^{\text{К}} + 1}, \quad (10)$$

Таким чином, при використанні кодового струму в розрахунках параметрів кабельної лінії отримано два рівняння з двома невідомими, з яких перебувають хвильовий опір і коефіцієнт розповсюдження хвилі, а потім первинні параметри – питомий опір кабельної лінії і її питома ємність:

$$\begin{cases} \dot{I}_{\text{Ф}} = \frac{\dot{U}_{\text{САЛС}}}{\underline{Z}_{\text{САЛС}}} = \frac{\dot{U}_{\text{НК}}}{(\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}}} \cdot \frac{\underline{Z}_{\text{ЕПШ}} \cdot th(\gamma \cdot l)_{\text{КП}} + (\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}}}{\underline{Z}_{\text{ЕПШ}} + (\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}} \cdot th(\gamma \cdot l)_{\text{КП}}}, \\ \underline{Z}_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} = \frac{\dot{U}_{\text{КТ}} - \dot{U}_{L\text{ФПУ}}}{\dot{U}_{L\text{ФПУ}}} \cdot \underline{Z}_{L\text{ФПУ}} \cdot \frac{th(\gamma / k_{\text{Ч}} \cdot l)_{\text{КП}} \cdot (\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}} \cdot k_{\text{Ч}} / \underline{Z}_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} + 1}{th(\gamma / k_{\text{Ч}} \cdot l)_{\text{КП}} \cdot \underline{Z}_{\text{ЕПШ}}^{\text{К}} / ((\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}} \cdot k_{\text{Ч}}) + 1}, \\ k_{\text{Ч}} = \sqrt{\frac{w_{\text{С}}}{w_{\text{К}}}}, \end{cases} \quad (11)$$

де $(\underline{Z}_{\text{В}})_{\text{КП}}$ й $(\gamma \cdot l)_{\text{КП}}$ – невідомі вторинні параметри кабельної лінії; $k_{\text{Ч}}$ – коефіцієнт урахування частот, що приводить частоту кодового струму до частоти сигнального струму.

По вищенаведених формулах становлять програмний алгоритм визначення параметрів КЛ і РЛ тональних рейкових кіл. Якщо вже відомі параметри КЛ живильного кінця, то первинні параметри РЛ (опір баласту) і КЛ релейного кінця можна визначити складанням системи рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{U}_{\text{Г}}^{\text{Р}} = \underline{A}^{\text{Р}}(\underline{R}_{\text{Б}}, \underline{Z}_{\text{Р}}, R_{\text{кр}}, C_{\text{кр}}) \cdot \dot{U}_{\text{КП}}^{\text{Р}} + \underline{B}^{\text{Р}}(\underline{R}_{\text{Б}}, \underline{Z}_{\text{Р}}, R_{\text{кр}}, C_{\text{кр}}) \cdot \dot{I}_{\text{КП}}^{\text{Р}}, \\ \dot{U}_{\text{Г}}^{\text{Н}} = \underline{A}^{\text{Н}}(\underline{R}_{\text{Б}}, \underline{Z}_{\text{Р}}, R_{\text{кр}}, C_{\text{кр}}) \cdot \dot{U}_{\text{КП}}^{\text{Н}} + \underline{B}^{\text{Н}}(\underline{R}_{\text{Б}}, \underline{Z}_{\text{Р}}, R_{\text{кр}}, C_{\text{кр}}) \cdot \dot{I}_{\text{КП}}^{\text{Н}}, \\ \dot{I}_{\text{Г}}^{\text{Р}} = \underline{C}^{\text{Р}}(\underline{R}_{\text{Б}}, \underline{Z}_{\text{Р}}, R_{\text{кр}}, C_{\text{кр}}) \cdot \dot{U}_{\text{КП}}^{\text{Р}} + \underline{D}^{\text{Р}}(\underline{R}_{\text{Б}}, \underline{Z}_{\text{Р}}, R_{\text{кр}}, C_{\text{кр}}) \cdot \dot{I}_{\text{КП}}^{\text{Р}}, \\ \dot{I}_{\text{Г}}^{\text{Н}} = \underline{C}^{\text{Н}}(\underline{R}_{\text{Б}}, \underline{Z}_{\text{Р}}, R_{\text{кр}}, C_{\text{кр}}) \cdot \dot{U}_{\text{КП}}^{\text{Н}} + \underline{D}^{\text{Н}}(\underline{R}_{\text{Б}}, \underline{Z}_{\text{Р}}, R_{\text{кр}}, C_{\text{кр}}) \cdot \dot{I}_{\text{КП}}^{\text{Н}}, \end{cases} \quad (12)$$

де $\dot{U}_\Gamma^P$, $\dot{U}_\Gamma^H$, $\dot{I}_\Gamma^P$, $\dot{I}_\Gamma^H$ – напруги й струми генератора при наявності шунта на релейному кінці й при нормальному режимі роботи РК відповідно; $\dot{U}_{\text{КП}}^P$, $\dot{U}_{\text{КП}}^H$, $\dot{I}_{\text{КП}}^P$, $\dot{I}_{\text{КП}}^H$ – аналогічні напруги й струми на вході колейного приймача; $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}$ – коефіцієнти загального 4-полюсника рейкової лінії в нормальному режимі (при наявності позначки “Н”) або при наявності шунта на релейному кінці (при наявності позначки “Р”), котрі залежать від первинних параметрів КЛ і РЛ; $R_{\text{КР}}, C_{\text{КР}}$ – питомі опір і ємність кабелю релейного кінця відповідно.

Фактично, у розрахунках враховують нормативним значення опору рейкових ниток, тоді для визначення трьох невідомі необхідний розв'язок трьох рівнянь, а 4-е можна використовувати для перевірки отриманих результатів. Коефіцієнти 4-полюсників знаходять із схеми заміщення, показаної на рис. 7:

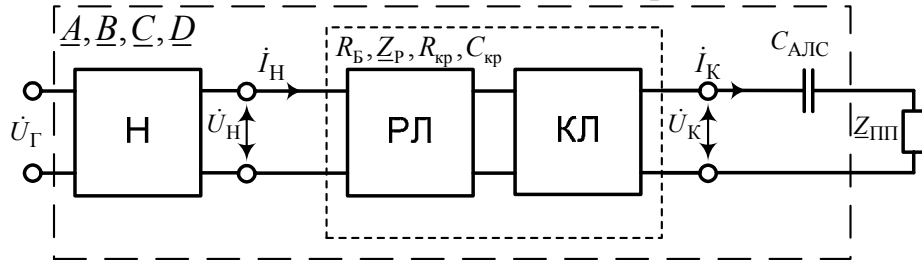


Рис. 7. Схема для розрахунків параметрів рейкової лінії та кабельної лінії релейного кінця.

Для розрахунку параметрів КЛ релейного кінця та РЛ напруги й струми $\dot{U}_H$, $\dot{U}_K$, $\dot{I}_H$ і $\dot{I}_K$ визначають в залежності від параметрів чотирьохполюсників:

$$\begin{cases} \dot{U}_H = \frac{\underline{D}_H \cdot \dot{U}_\Gamma - \underline{B}_H \cdot \dot{I}_\Gamma}{\underline{A}_H \cdot \underline{D}_H - \underline{B}_H \cdot \underline{C}_H}, \\ \dot{I}_H = \frac{\underline{A}_H \cdot \dot{I}_\Gamma - \underline{C}_H \cdot \dot{U}_\Gamma}{\underline{A}_H \cdot \underline{D}_H - \underline{B}_H \cdot \underline{C}_H}, \\ \dot{U}_K = \dot{U}_{\text{ПП}} + \frac{\dot{I}_{\text{ПП}}}{j \cdot \omega \cdot 4 \cdot 10^{-6}}, \\ \dot{I}_K = \dot{I}_{\text{ПП}}, \end{cases} \quad (13)$$

де $\underline{A}_H, \underline{B}_H, \underline{C}_H, \underline{D}_H$, – параметри 4-полюсника початку рейкової лінії. При розрахунку по формулі 11 параметри 4-полюсників для нормального й шунтового режимів визначаються з матриць:

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} \underline{A}^H & \underline{B}^H \\ \underline{C}^H & \underline{D}^H \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ch(\gamma \cdot l) & \underline{Z}_B \cdot sh(\gamma \cdot l) \\ \frac{sh(\gamma \cdot l)}{\underline{Z}_B} & ch(\gamma \cdot l) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{ch(\gamma \cdot l)_{\text{КР}} (\underline{Z}_B)_{\text{КР}} \cdot sh(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}}{sh(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}} & ch(\gamma \cdot l)_{\text{КР}} \\ \frac{sh(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}}{(\underline{Z}_B)_{\text{КР}}} & ch(\gamma \cdot l)_{\text{КР}} \end{pmatrix}, \\ \begin{pmatrix} \underline{A}^P & \underline{B}^P \\ \underline{C}^P & \underline{D}^P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ch(\gamma \cdot l) & \underline{Z}_B \cdot sh(\gamma \cdot l) \\ \frac{sh(\gamma \cdot l)}{\underline{Z}_B} & ch(\gamma \cdot l) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/R_{\text{Ш}} & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{ch(\gamma \cdot l)_{\text{КР}} (\underline{Z}_B)_{\text{КР}} \cdot sh(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}}{sh(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}} & ch(\gamma \cdot l)_{\text{КР}} \\ \frac{sh(\gamma \cdot l)_{\text{КР}}}{(\underline{Z}_B)_{\text{КР}}} & ch(\gamma \cdot l)_{\text{КР}} \end{pmatrix}, \end{cases} \quad (14)$$

де $(Z_B)_{\text{кр}}$ - хвильовий опір КЛ релейного кінця ТРК; $(\gamma \cdot l)_{\text{кр}} = \gamma_{\text{кр}} \cdot l_{\text{кр}}$ - множення коефіцієнта розповсюдження хвилі КЛ релейного кінця ТРК ($\gamma_{\text{кр}}$) та довжини цієї КЛ ($l_{\text{кр}}$).

Таким чином, для визначення параметрів КЛ релейного кінця й РЛ необхідно знайти провести виміру напруг і струмів на виході генератора й вході колійного приймача, далі визначити електричні величини $\dot{U}_H$, $\dot{U}_K$, $\dot{I}_H$ і $\dot{I}_K$, а після цього обчислити вторинні параметри ліній $Z_B, \gamma, (Z_B)_{\text{кр}}, \gamma_{\text{кр}}$, а потім і первинні параметри $R_B, Z_P, R_{\text{кр}}, C_{\text{кр}}$ кабельної лінії релейного кінця та рейкової ліній ТРК.

Один із результатів визначення первинних параметрів кабельних та рейкової ліній представлений в табл. 3.

Таблиця 3

Результати досліджень параметрів кабельних та рейкової ліній

Визначені величини	$R_{\text{кж}}$, Ом/км	$Z_{\text{ікж}}(R_{\text{ікж}})$, 10^6 Ом·км	$R_{\text{кр}}$, Ом/км	$Z_{\text{ікр}}(R_{\text{ікр}})$, 10^6 Ом·км	R_B , Ом·км	Z_P , Ом/км
Метод виміру	Методика автоматизованого виміру					
Результати	59	$6,8 \cdot e^{-89,4^\circ}$ (740)	54	$8,16 \cdot e^{-89,3^\circ}$ (721)	2,17	8,2
Метод виміру	За технологією обслуговування					
Результати	немає даних	$4,1 \cdot e^{-89,7^\circ}$ (800)	немає даних	$4,1 \cdot e^{-89,7^\circ}$ (800)	2,08	немає даних

З аналізу таблиці 3 видно, що максимальна похибка визначення опору ізоляції КЛ складає 9,8 %. В табл. 3 вказані $R_{\text{кж}}$ та $R_{\text{кр}}$ – активні опори жили КЛ живильного та релейного кінців РК, $Z_{\text{ікж}}(R_{\text{ікж}})$ та $Z_{\text{ікр}}(R_{\text{ікр}})$ – повні (активні) опори ізоляції КЛ живильного та релейного кінців відповідно, R_B та Z_P – первинні параметри рейкової лінії.

Прогнозування стану відповідальних елементів. У якості відповідального елемента приймається колійний приймач, що визначає стан рейкового кола спільно з колійним реле. В даному розділі описаний та перевірений метод контролю визначення правильного рішення КП, що заснований на використанні нейронної мережі для контролю фактичного звільнення РЛ рухомою одиницею.

Складена нейронна мережа аналізує виміряні дані напруги на вході КП, порівнює з прогнозованою залежністю для рейкового кола. При знаходженні визначеної напруги в межах встановлених значень фіксують фактичне звільнення РЛ. При виході контрольної напруги за межі встановлених даних фіксують спрацювання КП від перешкоди, та визначають ситуацію помилкової вільності.

Визначена нейронна мережа прямого розповсюдження прогнозує дані зі зміни напруги на вході колійного приймача з межами в 12,9% для формування меж знаходження сигналу з урахуванням можливої зміни швидкості рухомого складу як в більшу, так і в меншу сторону.

Для колійного приймача приведена математична модель та приклад автоматизованого визначення вхідного опору в процесі поточної експлуатації без

виключення генератора з роботи ТРК. Окремо вказані принципи визначення для станційного та перегінного ТРК, апаратура котрих знаходиться на станції. Приклад отриманих результатів з визначення вхідного опору зображений на рис. 8.



Рис. 8. Частотна залежність рівня вхідного опору колійного приймача.

В четвертому розділі приведена розробка алгоритмів, структури та технічної реалізації системи контролю та діагностування тональних рейкових кіл. Приведена структурна схема системи діагностування всіх вказаних параметрів з описом їх роботи, та алгоритмом функціонування. Щодо принципових схем, вказана та описаний принцип узгодження та захисту апаратури тональних рейкових кіл з системою контролю та діагностування, вибрані та описані точки її підключення. Приведений загальний алгоритм роботи пристрою.

В п'ятому розділі приведено економічне обґрунтування актуальності впровадження технології обслуговування з використанням комплексу контролю та діагностування тональних рейкових кіл, з розрахунком експлуатаційних витрат за рік, річного економічного ефекту, та строку окупності системи. Для удосконаленої технології обслуговування експлуатаційні витрати складають 347,73 грн. Річний економічний ефект від удосконалення дорівнює 1149,88 грн., а строк окупності впроваджуваної технології обслуговування з автоматизованим комплексом складає приблизно вісім місяців.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання удосконалення технічного обслуговування ТРК шляхом автоматизації контролю їх параметрів.

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень, наведених в дисертації, одержані такі основні наукові результати та зроблені наступні висновки:

- в результаті проведення аналізу існуючих методів та засобів технічного обслуговування визначено, що 95 відсотків методів та засобів ТО не мають функції визначення перед відмовного стану рейкового кола;
- розроблено діагностичну модель ТРК, що враховує 13 одиничних відомих несправностей;
- визначені ймовірнісні параметри тонального рейкового кола, за допомогою чого встановлені діапазони припустимих меж знаходження електричних параметрів ТРК для завчасного попередження переходу їх у передвідмовний стан (з ймовірністю 0,27%);

- науково обґрунтований вибір 9-ти дискретних параметрів, що дозволяють безперервно визначати технічний стан тонального рейкового кола в автоматичному режимі роботи пристрою контролю;

- вдосконалена математична модель ТРК нормального та шунтового режимів, за допомогою чого досліджений вплив параметрів кабельної лінії на роботу тонального рейкового кола та розроблений метод визначення первинних параметрів кабельних та рейкової ліній тонального рейкового кола з відносною похибкою не більше 10 %;

- вдосконалена математична модель ТРК, враховані 2 зовнішніх фактори, що впливають на довжину зони додаткового шунтування, на основі чого розроблений метод визначення кодового струму локомотивної сигналізації по залежностям електричних сигналів на станції від кодового струму в рейковому колі з урахуванням можливої зони додаткового шунтування при відсутності ІС в тональному рейковому колі. Відносна похибка визначення кодового струму не перевищує 10 відсотків;

- розроблені алгоритми автоматичної обробки результатів вимірювань контрольних параметрів для визначення технічного стану ТРК за допомогою 2 варіантів контролю параметрів, на основі котрого розроблений метод автоматичного визначення вхідного опору колійного приймача;

- розроблені методи та засоби безперервного автоматизованого контролю та діагностування тональних рейкових кіл з можливістю прогнозування передвідмовних станів на прикладі контролю появи помилкової вільності за рахунок аналізу сигналів в тональному рейковому колі, що прогнозує зміну сигналу на живильному кінці при звільненні дільниці з урахуванням зміни швидкості рухомого складу від 20 до 110 км/год;

- розроблений дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів тональних рейкових кіл. Практичний час визначення контрольних ознак не перевищує 5 с для кожного рейкового кола;

- розроблені пропозиції по удосконаленню технічного обслуговування ТРК при використанні розробленого комп'ютерного контролюючого комплексу, що представлені у вигляді доповнень до 4 технологічних карт ТО;

- проведено техніко-економічне обґрунтування розробленого комплексу контролю, очікуваний річний економічний ефект від удосконалення ТО при впровадженні комплексу контролю ТРК складає не менше 1149,88 грн.

Впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні роботи:

1. Романцев И. О. Определение параметров и критериев для системы автоматического контроля состояния тональных рельсовых цепей / И. О. Романцев // Электромагнитна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2011. – Вип. 1. – С. 37-43.
2. Романцев И. О. Анализ отказов и методы контроля рельсовых цепей / Д. В. Дунаев, И. О. Романцев, В. И. Гаврилюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 32. – С. 212-217.

3. Романцев І. О. Узагальнення методу ідентифікації лінійних динамічних систем за допомогою імпульсного сигналу / Р. В. Рибалка, В. І. Гаврилюк, І. О. Романцев // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 29. – С. 131-133.
4. Романцев І. О. Анализ методов расчета тональной рельсовой цепи перегона / Романцев І. О., Гаврилюк В. І. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – С. 187-192.
5. Пат. 50740 Україна МПК В61L 25/00. Спосіб вимірювання первинних параметрів рейкової лінії / Гаврилюк В. І., Романцев І. О.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 4. 12. 2009; опубліковано 25. 06. 2010, Бюл. №12.
6. Пат. 50742 Україна МПК В61L 25/00. Спосіб вимірювання параметрів кодового струму в рейкових колах без ізолюючих стиків / Гаврилюк В. І., Романцев І. О.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 4. 12. 2009; опубліковано 25. 06. 2010, Бюл. №12.

Додаткові роботи:

7. Пат. 50743 Україна МПК В61L 25/00. Спосіб визначення параметрів руху потягу на перегоні при центральному розміщенні апаратури автоблокування / Романцев І. О., Гаврилюк В. І., Рибалка Р. В.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 4. 12. 2009; опубліковано 25. 06. 2010, Бюл. №12.
8. Пат. 50848 Україна МПК В61L 25/00. Спосіб визначення опору ізоляції баласту рейкової лінії / Гаврилюк В. І., Романцев І. О., Дунаєв Д. В.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 25. 12. 2009; опубліковано 25. 06. 2010, Бюл. №12.
9. Пат. 61018 Україна МПК В61L 25/00. Спосіб визначення первинних параметрів кабельних та рейкових ліній рейкових кіл при центральному розміщенні апаратури / Гаврилюк В. І., Романцев І. О.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 08. 11. 2010; опубліковано 11. 07. 2011, Бюл. №13.
10. Гаврилюк В. І. Діагностика стану рейкових кіл тональної частоти в системах залізничної автоматики. / Гаврилюк В. І., Романцев І. О. //Тези. Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи», Дніпропетровськ, 2008. – С. 85.
11. Романцев І. О. Особливості розрахунку режимів експлуатації тонального рейкового кола в системах залізничної автоматики. / Романцев І. О., Гаврилюк В. І. //Тези. Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи», Дніпропетровськ, 2008. – С. 87.

12. Романцев І. О. Виявлення параметрів та критеріїв для системи автоматичного контролю стану тональних рейкових кіл. / Романцев І. О., Гаврилюк В. І. //Тези Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Електромагнітна сумісність і безпека на залізничному транспорті» (ЕМС-Р 2010) Дніпропетровськ, 2010. – С. 44-45.
13. Романцев І. О. Определение параметров кабельных и рельсовых линий тональных рельсовых цепей. / Романцев І. О., Гаврилюк В. І. //Тези. Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», Харків. – 2010. – С. 26.
14. Романцев І. О. Устройство контроля емкости кабельной линии тональной рельсовой цепи. //Тези. Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», Харків, 2010. С. 27.

АНОТАЦІЯ

Романцев І. О. Удосконалення технології обслуговування тональних рейкових кіл шляхом автоматизації контролю їх параметрів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, Дніпропетровськ, 2011.

Дисертація присвячена питанням удосконалення технології обслуговування тональних рейкових кіл за допомогою автоматизації контролю їх параметрів. Запропоновано удосконалення технології обслуговування шляхом використання розроблених методів автоматичного виміру електричних параметрів тонального рейкового кола, визначення його стану за допомогою комплексного аналізу вимірюваних параметрів з використанням перетворення Фур'є, методу математичного моделювання, числових методів, аналізу статистичних даних, штучних нейронних мереж.

Визначені необхідні контрольні параметри для аналізу стану тональних рейкових кіл в комплексі, розроблені математичні моделі електричних процесів в рейкових колах при дистанційних вимірах, розроблена мажоритарна система діагностування з сезонним корегуванням ймовірностей, розроблений дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для удосконалення технології обслуговування тональних рейкових кіл.

Ключові слова: удосконалення технології обслуговування, автоматизація контролю, рейкове коло, контрольовані параметри, дистанційне вимірювання, ймовірнісне діагностування, частотний аналіз, автоматизована система.

АННОТАЦИЯ

Романцев И. О. Усовершенствование технологии обслуживания тональных рельсовых цепей путем автоматизации контроля их параметров. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта.

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна, Днепропетровск, 2011.

Диссертация посвящена вопросам усовершенствования технологии обслуживания тональных рельсовых цепей с помощью автоматизации комплексного контроля их состояния современными аппаратно-программными средствами. В работе проведен анализ статистики отказов устройств железнодорожной автоматики, и в частности рельсовых цепей, рассмотрены эксплуатационные и технические требования, предъявляемые к обслуживанию тональных рельсовых цепей. Проведен анализ технологии обслуживания и используемых ней систем контроля и диагностирования рельсовых цепей как одного объекта, так и поэлементно. Проведенный анализ позволил выявить существующие недостатки в технологии обслуживания тональных рельсовых цепей и подтвердил актуальность и своевременность проведенных исследований и технических решений.

Впервые разработаны математические модели электрических процессов в тональной рельсовой цепи, которые позволили автоматизировать процесс дистанционного определения электрических параметров тональной рельсовой цепи и исключить значительную часть времени и сил обслуживающего персонала при проведении данного рода работ. Правильность результатов и адекватность работы модели подтверждена аналитически и экспериментально.

В работе усовершенствован метод расчета рельсовых цепей тональной частоты без изолирующих стыков, который учитывает их отсутствие с максимальной погрешностью и исключает возможность неправильного функционирования при исправности всех элементов рельсовой цепи.

Впервые предложена система диагностирования, которая учитывает сезонную нагрузку на железную дорогу путем корректировки вероятностных характеристик, за счет чего исключаются резкие изменения апостериорных вероятностей и практически не используется время на переобучение вероятностной системы

Осуществлена техническая реализация для усовершенствования технологии обслуживания путем формирования системы автоматического контроля и диагностирования параметров тональной рельсовой цепи. Использование данных методов и технических средств позволяет создать технологии обслуживания с автоматического контроля состояния тональной рельсовой цепи без участия оператора и перейти от планово-предупредительного обслуживания к технологии обслуживания по необходимости.

Испытания разработанного экспериментального образца системы автоматического контроля на Приднепровской железной дороге показали, что использование такой системы позволяет уменьшить затраты труда и времени на 95,12%, повысить точность измерений, повысить безопасность для работников службы, производить прогнозирование возникновения элементарных отказов, предупреждая задержки поездов.

Произведен расчет экономического эффекта, эксплуатационных затрат и срока окупаемости технологии при ее использовании в дистанции. Ожидаемый годовой экономический эффект для системы контроля составляет 1149,88 грн., а время окупаемости около 8 месяцев. Помимо экономического эффекта, усовершенствование технологии обслуживания с автоматизированным контролем параметров тональных

рельсовых цепей дает и социальный эффект, так как в значительной мере уменьшается количество трудоемких ручных операций при плановых профилактических проверках, и уменьшается время нахождения обслуживающего персонала в зоне движения подвижного состава. Предложенные усовершенствования по повышению безопасности функционирования тональных рельсовых цепей путем автоматизации контроля их параметров, рекомендованы для внедрения на железных дорогах Украины.

Ключевые слова: усовершенствование технологии обслуживания, автоматизация контроля, рельсовая цепь, контролируемые параметры, дистанционное измерение, вероятностное диагностирование, спектральный анализ, автоматизированная система.

ANNOTATION

Romantsev I. O. Improvement of maintenance technology of tonal-frequency railway circuits by automation of control of their parameters

Thesis for candidate of technical science academic degree competition at 05.22.20 – transport means exploitation and maintenance specialty. Dnepropetrovsk State University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnepropetrovsk, 2011.

Dissertation is devoted to the questions of improvement of maintenance technology of tonal-frequency railway circuits by means of automation of control of their parameters. The improvement of maintenance technology is offered by the use of the worked out methods of the automatic measuring of electric parameters of tonal-frequency railway circuit, determination of his state by means of complex analysis of the measured parameters with the use of Fourier transform, method of mathematical design, numerical methods, analysis of statistical data, artificial neuron networks.

The needed control parameters for the analysis of the state of tonal-frequency railway circuits in a complex are certain, the mathematical models of electric processes are worked out in railway circuits at telemetering, the majority system of diagnostic is worked out with correction of seasonal probabilities, the pre-production model of the automated hardware-programmatic complex is worked out for the improvement of technology of maintenance of tonal-frequency railway circuits.

Keywords: maintenance technology improvement, control automation, railway circuit, controlled parameters, telemetering, probabilistic diagnosing, frequency analysis, automated system.

РОМАНЦЕВ Іван Олегович

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТОНАЛЬНИХ
РЕЙКОВИХ КІЛ ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ЇХ
ПАРАМЕТРІВ**

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. 1,0. Обл.-вид. арк. 1,0.
Тираж 100 прим. Зам. №____

Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2. www.diitrvv.dp.ua