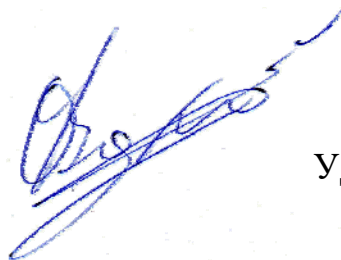


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

ВОЗНЯК Олег Михайлович



УДК 656.216.2:625.096(043.3)

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТРОЛЮ РУХОМИХ ОДИНИЦЬ
У СИСТЕМАХ БЕЗПЕКИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДАХ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Дніпро – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі транспортних технологій Львівської філії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
БОЙНІК Анатолій Борисович,
Український державний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри «Автоматика і комп'ютерне телекерування рухом поїздів»;


кандидат технічних наук, доцент
ПОНОМАРЬОВА Олена Анатоліївна,
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, доцент кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології і системи»

Захист відбудеться «25» травня 2017 р. о 11 годині 00 хвилин на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

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

Автореферат розісланий «21» квітня 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Вченої ради


І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах є однією з найгостріших задач загальної проблеми безпеки на залізничному транспорті. Залізничні переїзди, хоча є зонами підвищеної небезпеки для руху як залізничними коліями, так і автомобільними дорогами, досі залишаються вкрай необхідними на мережі залізниць України. Влаштування замість них розв'язок на різних рівнях вимагає значних капітальних затрат. При порівняно незначних та середніх обсягах руху заміна переїздів перетинами на різних рівнях переважно не може бути доцільною, насамперед з економічної точки зору, тому переїзди ще тривалий час залишатимуться у інфраструктурі залізниць. У зв'язку з цим особливого значення набуває забезпечення на них вимог безпеки руху.

Основними технічними засобами, які забезпечують безпеку функціонування залізничних переїздів є: автоматична світлофорна сигналізація, автоматичні шлагбауми, неавтоматичні шлагбауми із ручними механічними чи електричними приводами, захисні бар'єрні установки, оповіщувальна сигналізація. Ці пристрої постійно вдосконалюються, адже їх надійна робота дає змогу забезпечити безпеку руху як автомобільного, так і залізничного транспортів, ритмічність процесу перевезень, запобігти аваріям та катастрофам.

Актуальність задачі досліджень. На даний час ситуація із забезпеченням безпеки функціонування транспортних перетинів залишається вкрай гострою. Згідно із статистичними даними, на залізничних переїздах мережі залізниць України, у середньому, щорічно у 125 дорожньо-транспортних пригодах гине близько 35 осіб. Кількість аварій на 100 переїздів в Україні залишається високою у порівнянні із їх кількістю на переїздах країн з розвиненими залізничними мережами. Однак навіть і у цих країнах проблема підвищення безпеки на залізничних переїздах настільки актуальна, що з 20 січня 2014 року регулярно, три рази у рік у Швейцарії, в Женевському офісі Об'єднаних націй (UNOG), представниками країн-членів UNECE (Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй), а також країн – не членів UNECE – Австралії, Індії, Нової Зеландії, Республіки Південної Африки проводяться сесії групи експертів UNECE з безпеки на залізничних переїздах. До участі у сесіях також запрошуються різні науковці та незалежні дослідники. На сесії виносяться питання заходів та засобів підвищення безпеки на залізничних переїздах у світі. Зокрема окреслені основні напрямки подальших досліджень та розробок у цьому напрямі, які повинні бути спрямовані на: контроль швидкості наближення поїзда до переїзду, контроль перешкод у зоні переїзду, автоматичне передавання на локомотив інформації про стан переїзду, дистанційне управління пристроями, які знаходяться на переїзді. Розробка та удосконалення зазначених пристроїв сприятиме підвищенню безпеки на залізничних переїздах, покращенню екологічної ситуації, а також мінімізації часу простою автотранспорту у зоні переїздів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Робота виконана на кафедрі транспортних технологій Львівської філії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна відповідно до пріоритетних напрямків розвитку залізничної галузі, які визначені у Транспортній стратегії України до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р), а також пов'язана з результатами п'яти науково-дослідних робіт (НДР), які виконувалися згідно з планами науково-дослідних робіт у Львівському науково-дослідному інституті судових експертиз Міністерства юстиції України та у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Зокрема, у НДР "Дослідження систем залізничної автоматики і телемеханіки у судовій залізнично-транспортній експертизі", № ДР 0114U000612 (2014-2015 рр.) автор брав участь як керівник, у решті НДР – як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності контролю параметрів руху залізничних та автодорожніх транспортних засобів у межах дії систем забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати стан безпеки на залізничних переїздах, причини виникнення небезпечних ситуацій, існуючі методи та засоби контролю руху транспортних засобів у межах залізничних переїздів та їх ефективність;
- удосконалити метод визначення часу затримки на спрацювання переїзної автоматики залежно від фактичної швидкості поїзда, з урахуванням впровадження на залізницях України прискореного руху поїздів зі швидкостями до 160 км/год.;
- удосконалити метод визначення параметрів руху поїзда на вимірювальній ділянці та ділянці наближення, а саме: відстані від переїзду до поїзда, швидкості та прискорення шляхом вимірювання параметрів рейкової лінії;
- удосконалити математичну модель рейкового кола та провести моделювання змін його електричних параметрів у різних режимах роботи з додатковим визначенням опору ізоляції баласту;
- провести експериментальні дослідження змін електричних параметрів рейкового кола у різних режимах його роботи для перевірки адекватності розробленої моделі;
- удосконалити математичну модель первинного індуктивного перетворювача з урахуванням впливу поверхневого шару землі та дорожнього покриття для визначення раціональних параметрів перетворювача;
- провести експериментальні дослідження первинних індуктивних перетворювачів системи контролю для уточнення їх раціональних параметрів;
- розробити метод, структуру та алгоритм роботи комплексної системи підвищення ефективності контролю за рухом залізничних та автодорожніх транспортних засобів у системах забезпечення безпеки на залізничних переїздах.

Об'єкт досліджень – процеси у системах забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах.

Предмет досліджень – методи та засоби контролю за рухомими залізничними та автодорожніми транспортними засобами на залізничних переїздах.

Методи дослідження. Для дослідження процесів у системах забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах застосовано загальні (аналіз, порівняння та синтез) та спеціальні методи досліджень: метод найменших квадратів, теорія електричних кіл, теорія функцій комплексної змінної, теорія чотиріполосників, теорія матриць, імітаційне моделювання, а також моделювання та експериментальні дослідження на лабораторних макетах та реальних об'єктах.

Під час проведення експериментів використано сучасне вимірювальне обладнання: аналогово-цифровий перетворювач E14-140 MD, шкала цифрова горизонтальна Мікротех ШЦГ-300-0,01-S1, осцилограф ATEN ADC 1022 C, датчики струму, цифровий мультиметр кліщевидного типу марки 266FT, цифровий мультиметр із функцією вимірювання індуктивності та ємності типу VC9805.

Координата рухомої одиниці (голови поїзда) контролювалася за допомогою планшета на базі ОС Android 4.0.2 з програмним забезпеченням GPS-навігації Navitel.

Обробку експериментальних даних виконано на ПК із використанням спеціального програмного забезпечення: LGraph 2 – "Українські вимірювальні системи Мікротех v.2.7 типу УИС-РЗ-USB", вимірювальні прилади виконані у середовищі розробки для візуальної мови програмування LabVIEW 2012 компанії National Instruments, моделювання здійснювалось із використанням системи комп'ютерної алгебри Mathcad 15 та табличного процесора Microsoft Excel 2010.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень підтверджуються застосуванням адекватного математичного апарату, відповідністю результатів теоретичних досліджень, обчислень, математичного моделювання результатам експериментальних досліджень у лабораторних умовах та на реальних об'єктах.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці та науковому обґрунтуванні методів і засобів підвищення ефективності контролю залізничних та автодорожніх транспортних засобів у межах дії систем забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах.

Вперше

- визначено раціональні параметри первинного індуктивного перетворювача системи контролю за рухом автодорожнього транспорту на переїзді, що дозволяє підвищити його чутливість для всіх стандартних типів автодорожніх транспортних засобів, які рухаються автошляхами України.

Удосконалено:

- метод визначення часу затримки на спрацювання систем переїзної автоматики, що відрізняється від існуючого врахуванням швидкісних параметрів прискорених залізничних транспортних засобів, які впроваджені на залізницях впродовж останніх років;
- математичну модель електричних параметрів рейкового кола залежно від режиму його роботи, що відрізняється від існуючої врахуванням значення опору ізоляції баласту, який визначається з параметрів нормального режиму роботи;
- метод визначення відстані від переїзду до поїзда на ділянці наближення та параметрів його руху, який відрізняється від існуючого періодичним контролем опору ізоляції баласту для корегування результату вимірювань, що дозволяє підвищити точність методу;
- математичну модель первинного індуктивного перетворювача системи контролю за рухом автодорожнього транспорту на переїзді, яка відрізняється від існуючих врахуванням впливу на індуктивність та ємність перетворювача поверхневого шару землі та дорожнього покриття на переїзді;
- метод та алгоритм роботи системи забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах, що відрізняється від існуючих наявністю одночасного контролю параметрів руху поїзда ділянкою наближення до переїзду та автотранспорту у межах залізничного переїзду з аналізом ситуації і прийняттям рішення.

Практичне значення одержаних результатів:

Результати проведених досліджень використано при розробці методики Міністерства юстиції України "Попередження та дослідження залізнично-транспортних пригод у межах залізничних переїздів", яка створена у межах виконання держбюджетної теми "Дослідження систем залізничної автоматики і телемеханіки у судовій залізнично-транспортній експертизі", № ДР 0114U000612 (2014-2015 рр.) та в даний час проходить апробацію (Рішення Секції судової інженерно-транспортної експертизи Науково-консультативної та методичної ради при Міністерстві юстиції України, яка відбулася 20–21 жовтня 2016 р. на базі Київського НДІСЕ, протокол №46) і буде впроваджена в практику спеціалізованих установ та НДІ судової експертизи.

Розроблений комплексний метод підвищення безпеки на залізничних переїздах та математична модель впроваджені в навчальний процес та використовуються в курсах лекцій із дисциплін "Автоматика і телемеханіка на перегонах" та "Автоматика, телемеханіка і зв'язок" Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту та його Львівської філії.

Результати роботи використовуються судовими експертами лабораторії залізнично-транспортних досліджень Львівського науково-дослідного інституту судових

експертиз при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз, пов'язаних із системами залізничної автоматики і телемеханіки.

Результати роботи використані при виконанні держбюджетної теми "Дослідження систем залізничної автоматики і телемеханіки у судовій залізнично-транспортній експертизі", № ДР 0114U000612 (2014-2015 рр.), яка виконувалась у Львівському інституті судових експертиз.

Результати досліджень, розроблені засоби та методи використані в монографії "Забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах", яка видана у межах держбюджетної теми «Дослідження і розробка інтегрованої комп'ютерної системи оптимізації перевезень, енергозбереження, безпеки руху та інтелектуалізації процедур управління залізничним транспортом України», № ДР 0114U005164 (2014–2015 рр.).

Особистий внесок здобувача. Формулювання мети і задачі дисертації, планування експериментів, обговорення результатів виконано разом з науковим керівником. Усі положення та результати теоретичних і експериментальних досліджень, які заведені у роботі отримані автором самостійно, або за його безпосередньої особистої участі.

У публікаціях, де відображено основні результати дисертації та які написані в співавторстві, автор: у [1] – розглянув питання інформаційного огороження залізничних переїздів та обґрунтував розрахункову швидкість перетину автомобілями його меж; у [2] – дослідив залежність відносної похибки визначення координати поїзда за вхідним імпедансом рейкових кіл, яка зумовлена зміною опору ізоляції баласту; у [3] – розглянув сучасний стан безпеки на залізничних переїздах, методи його оцінки, організаційні заходи та технічні методи і засоби підвищення безпеки руху, а також економічні методи оцінки їх ефективності; у [4] – окреслив загальні підходи до економічної оцінки способів підвищення безпеки руху у межах залізничних переїздів, виконав підбір та аналіз статистичних даних; у [10] – здійснював метрологічне забезпечення вимірювання напруг і струмів датчиків у тому числі і для пристрою вимірювання та оцінки напружено-деформованого стану мостових конструкцій при змінних температурах і навантаженнях (ВНДСМК). Роботи [5–9] написані самостійно, без співавторів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися та отримали схвалення та опубліковані в тезах на: V Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (Дніпропетровськ, лютий 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні тенденції розвитку судової експертизи» (Сімферополь, вересень 2012 р.); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» (Київ, квітень 2013 р.); 1-му науково-практичному семінарі пам'яті доктора технічних наук Едуарда Миколайовича Сокола «Наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд» (Львів, травень 2013 р.); Міжнародній науковій конференції «Trwalosc parpaw obiektow budowlanych» (Польща, Познань, листопад 2014 р.); 75-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта (Дніпропетровськ, травень 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції імені засновника судової залізнично-транспортної експертизи, доктора технічних наук Сокола Едуарда Миколайовича «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд» (Львів, вересень 2015 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції «Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании» (Дніпропетровськ, грудень 2015 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (с. Розлуч, лютий 2016 р.).

У повному обсязі дисертація доповідалася на семінарі кафедри «Транспортні технології» Львівської філії університету та міжкафедральному семінарі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (Дніпропетровськ, 27 грудня 2016 р.).

Публікації. Результати дисертації опубліковано у 29 наукових працях, у тому числі: 1 монографія, 10 наукових статей (9 – у фахових виданнях Переліку, затвердженого Атестаційною комісією МОН України, або у міжнародних наукометричних базах Scopus, РИНЦ), 11 тез доповідей конференцій, 6 патентів на корисну модель, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на службовий твір.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків.

Основний текст роботи викладено на 147 сторінках. Дисертація містить усього 71 рисунок та 35 таблиць. 1 рисунок, розташований на окремій сторінці. Список літератури із 149 найменувань викладено на 17 сторінках.

Дисертацію оформлено в одному томі. Повний обсяг дисертації 179 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, сформульована мета та задачі дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Сформульовано наукову новизну та практичне значення результатів проведених робіт, наведено відомості щодо апробації отриманих результатів досліджень та інформацію про їх публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз стану безпеки на залізничних переїздах та існуючих методів її підвищення. Окремо розглянуто основні типи датчиків, які застосовуються з метою контролю наявності автодорожніх транспортних засобів у межах залізничного переїзду, висвітлено їх характеристики, переваги та недоліки. Проаналізовано ефективність існуючих методів контролю параметрів руху залізничних та автотransпортних засобів в межах переїзду.

Значний внесок у створення та модернізацію систем автоматики і телемеханіки та підвищення безпеки на залізничних переїздах внесли вчені В. С. Аркатов, А. Б. Бойнік, В. І. Гаврилюк, М. Ф. Котляренко, Ю. А. Кравцов, В. Ф. Кустов, В. П. Мохонько, М. А. Новіков, А. Ф. Петров, А. П. Разгонов, В. Н. Самсонкін, В. В. Сапожников, Вол. В. Сапожников, Ю. В. Соколов, М. М. Степанов, Є. М. Тарасов та інші.

Із проведеного аналізу випливає, що існуючі алгоритми функціонування систем визначення координати і швидкості для автоматичної переїзної сигналізації недостатньо ефективні для підвищення безпеки та забезпечення пропускну здатності переїздів. Проведений огляд також свідчить про те, що автори вирішували проблему або з точки зору контролю за рухом поїзду шляхом різних колійних датчиків, або шляхом контролю за автотранспортом. Ефективніше проблему забезпечення безпеки на залізничних переїздах можна вирішити, врахувавши вплив на неї обох учасників руху – як залізничних, так і автодорожніх транспортних засобів.

Виходячи із зазначеного, у даній роботі розробляється комплексний метод контролю параметрів рухомих об'єктів у системах безпеки руху на залізничних переїздах, що поєднує одночасний контроль за рухом поїзду при наближенні до переїзду та автотранспорту в межах залізничного переїзду з оцінкою можливих ризиків і, у випадку можливого виникнення небезпечної ситуації, подачі попереджувальних сигналів на пристрої безпеки поїзду. Пристрій, який використовуватиме даний метод, повинен забезпечувати: контроль процесу переміщення транспортних засобів через залізничний переїзд як рейкових, так і автодорожніх; контроль наявних автотранспортних засобів у межах залізничного переїзду; використання спеціальних знаків та сигнальних приладів для сповіщення водіїв

про напрям руху поїзда та час до моменту, який залишився до спрацювання переїзної сигналізації; контроль координати та швидкості поїзда, при застосуванні відповідних методів і алгоритмів регулювання загороджувальними пристроями переїзду.

У другому розділі висвітлено спосіб управління переїзною сигналізацією, який передбачає виділення окремої ділянки перед ділянкою наближення до залізничного переїзду, яка призначена для вимірювання швидкості та прискорення поїзда, що наближається до залізничного переїзду. На рис. 1, з урахуванням швидкості наближення поїздів, наведено відстані до переїзду та моменти часу, які їм відповідають і відображено алгоритм функціонування переїзної сигналізації із пристроєм контролю координати та швидкості руху поїзда ділянкою наближення.

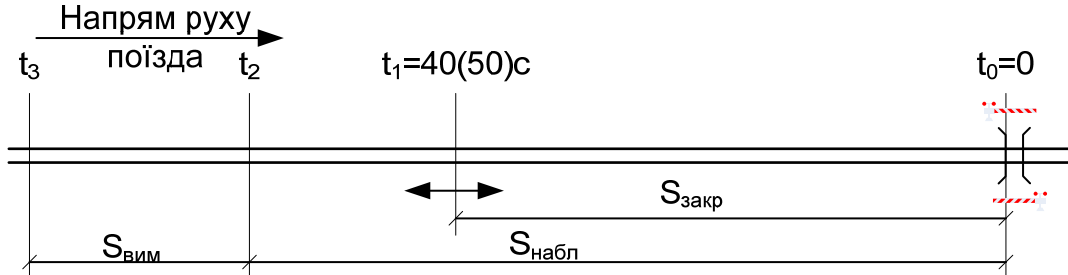


Рисунок 1 – Відстані та моменти часу, які їм відповідають при урахуванні швидкості наближення поїздів до залізничного переїзду

Під час знаходження поїзда на вимірювальній ділянці ($S_{\text{вим}}$) визначається також і час затримки до спрацювання переїзної автоматики, завдяки чому фіксується час закритого стану переїзду для автодорожніх транспортних засобів.

Координату закриття переїзду $S_{\text{закр}}$ визначимо із співвідношення:

$$S_{\text{закр}} = v_{\text{в}} \cdot t_1 + \frac{a \cdot t_1^2}{2}, \quad (1)$$

де: a , $v_{\text{в}}$ – прискорення та початкова швидкість поїзда; t_1 – час закритого стану переїзду.

Для визначення часу затримки до спрацювання переїзної сигналізації скористаємося співвідношенням (1), у якому відомий шлях, який становить $(S_{\text{набл}} - S_{\text{закр}})$. Оскільки значення часу не може бути від'ємним, то:

$$t_{\text{затр}} = \frac{\sqrt{v_{\text{в}}^2 + 2 \cdot a \cdot (S_{\text{набл}} - S_{\text{закр}})} - v_{\text{в}}}{a}. \quad (2)$$

Шляхом апроксимації тягової характеристики електропоїзда HRCS2 компанії «Hyundai Rotem» визначено максимальне прискорення залежно від діапазону швидкості його руху:

у діапазоні швидкостей 0–60 км/год

$$a = 0,7 \text{ м/с}^2; \quad (3)$$

у діапазоні швидкостей 60–100 км/год

$$a = \frac{6 \cdot (4708,9 \cdot v^{-0,995} - 15)}{461} \text{ м/с}^2; \quad (4)$$

у діапазоні швидкостей понад 100 км/год

$$a = \frac{6 \cdot (509760 \cdot v^{-2,011} - 15)}{461} \text{ м/с}^2. \quad (5)$$

Даний вдосконалений метод визначення часу затримки на спрацювання переїзної автоматики враховує характер руху поїзда та коди, які транслюються у рейкове коло ділянки наближення до залізничного переїзду. При його використанні координата закриття переїзду не залежить від довжини ділянки наближення. Ефективність такого пристрою зростає при зменшенні фактичної швидкості руху поїздів ділянкою набли-

ження. Максимальний час очікування автодорожніх засобів від моменту спрацювання переїзної сигналізації до моменту входження голови поїзда у межі залізничного переїзду при використанні розробленого методу, у порівнянні з існуючими системами, на ділянці наближення довжиною 1,5 км із максимальною швидкістю руху поїздів 140 км/год. зменшується від 560 с до 108 с і становить не більше 2 хв.

З метою визначення інформативних ознак у нормальному, шунтовому та контрольному режимах роботи рейкового кола описано математичну модель за якою у середовищі розробки для візуальної мови програмування компанії National Instruments LabVIEW 2012 було проведено моделювання кодового рейкового кола змінного струму з частотою 50 Гц довжиною 2,5 км.

Встановлено, що для визначення координати поїзда в межах рейкового кола найбільш прийнятною величиною є компонент модуля величин комплексних значень напруги, струму та вхідного імпедансу рейкової лінії. Результати моделювання показують, що амплітуди напруг, струмів на вході рейкової лінії та її вхідний імпеданс змінюються, відповідно у межах: у нормальному режимі – 3,98–6,73 В, 1,87–7,75 А та 0,87–2,12 Ом; у шунтовому режимі – 3,68–5,93 В, 1,87–6,8 А та 0,87–1,97 Ом; у контрольному режимі – 0,9–10,67 В, 0,8–5,44 А та 0,9–10,67 Ом.

Визначення режиму роботи рейкової лінії можна реалізувати двома шляхами: шляхом використання алгоритму фіксації стану рейкової лінії, який базується на інформації множини функцій, та завдяки використанню алгоритму, який базується на визначенні стану за вхідним імпедансом рейкової лінії вимірювальної ділянки.

Алгоритм фіксації стану рейкової лінії, який базується на інформації множини функцій, у порівнянні із алгоритмом, який базується на визначенні стану за вхідним імпедансом рейкової лінії вимірювальної ділянки володіє перевагою у тому, що забезпечує встановлення ще одного стану – несправності апаратури рейкової лінії. Однак алгоритм, який базується на визначенні стану за вхідним імпедансом рейкової лінії вимірювальної ділянки потребує проведення значно меншого об'єму обчислень та дає змогу визначити вторинні параметри рейкової лінії, а через них – і опір її ізоляції.

З метою визначення координати накладання шунта (першої колісної пари локомотива) було здійснено моделювання кодового рейкового кола частотою 50 Гц у шунтовому режимі роботи за моделлю, яка наведена на рис. 2.

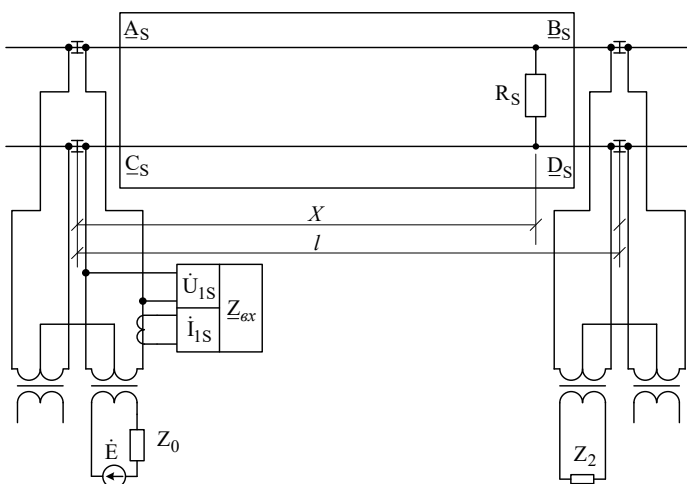


Рисунок 2 – Модель визначення координати накладання шунта за вхідним імпедансом рейкової лінії

При визначенні координати рухомої одиниці, з метою зменшення кількості інформативних ознак та спрощення обчислювальних процедур, скористаємося відношенням напруги і струму на вході рейкової лінії, що є її вхідним опором (імпедансом):

$$Z_{ex} = \frac{U_{1S}}{I_{1S}}. \quad (6)$$

Зв'язок між напругою і струмом на початку рейкової лінії (живильна сторона) із напругою і струмом на її кінці (релейна сторона) визначається за допомогою виразу:

$$\begin{cases} \dot{U}_{1S} = \dot{U}_{2S} \cdot A_S + \dot{I}_{2S} \cdot B_S \\ \dot{I}_{1S} = \dot{U}_{2S} \cdot C_S + \dot{I}_{2S} \cdot D_S \end{cases} \quad (7)$$

Із (6) із урахуванням (7) та значень коефіцієнтів отримаємо:

$$Z_{ex} = \frac{U_{1S}}{I_{1S}} = \frac{A_S Z_2 + B_S}{C_S Z_2 + D_S} = \frac{Z_{x6}^2 \cdot \text{sh}(\gamma \cdot X) + R_{ш} \cdot \text{ch}(\gamma \cdot X) \cdot Z_{x6}}{R_{ш} \cdot \text{sh}(\gamma \cdot X) + \text{ch}(\gamma \cdot X) \cdot Z_{x6}} \quad (8)$$

У наведених формулах: Z_{ex} – вхідний імпеданс рейкової лінії; U_{1S} , I_{1S} – відповідно напруга і струм на початку рейкової лінії; A_S , B_S , C_S , D_S – коефіцієнти чотириполюсника рейкової лінії у шунтовому режимі роботи; Z_{x6} – хвильовий опір рейкової лінії; γ – коефіцієнт розповсюдження; X – координата накладання шунта; $R_{ш}$ – нормативний опір шунта.

Зазначені обчислення здійснювалися для рейкових кіл із сигнальним струмом 25, 50, 420, 480, 580, 720 або 780 Гц. Як приклад, на рис. 3 наведено обчислені значення вхідного імпедансу кодового рейкового кола із сигнальним струмом 50 Гц при зміні опору ізоляції у межах від 1 до 50 Ом/Км з урахуванням заземлення опор контактної мережі та зміні координати накладання шунта у напрямі від релейного до живильного кінця рейкової лінії із кроком 10 м.

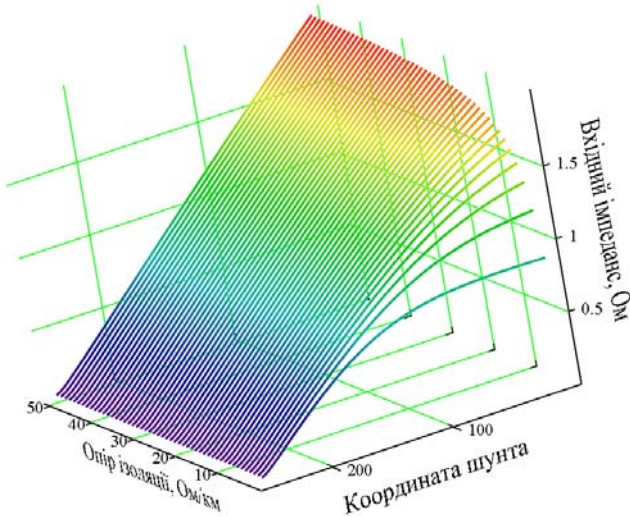


Рисунок 3 – Залежність вхідного імпедансу рейкової лінії у шунтовому режимі роботи при зміні опору ізоляції (вісь y) та координати шунта (точки 1–250, зняті з кроком 10 м – вісь x)

Аналіз проведених досліджень показує, що на координатах накладання шунта більше 1 км вхідний імпеданс змінюється у незначних межах, тому для таких довгих рейкових кіл (на координатах $>1,5$ км) визначення координати накладання шунта ускладнене. Однак для тональних рейкових кіл накладання, які використовуються на ділянках наближення до залізничних переїздів (< 1 км) похибка буде до 3 %.

Для підвищення точності методу визначимо вторинні параметри рейкової лінії у період часу, коли вона працює у нормальному режимі роботи. З цією метою визначимо вхідний опір релейного кінця рейкової лінії за виразом:

$$Z_2 = \frac{A_{\kappa} Z_p + B_{\kappa}}{C_{\kappa} Z_p + D_{\kappa}}, \quad (9)$$

де: Z_2 – вхідний опір апаратури і реле, під'єднаних до релейного кінця рейкової лінії; Z_p – опір колійного реле; A_{κ} , B_{κ} , C_{κ} , D_{κ} – коефіцієнти чотириполюсника увімкненого між рейковою лінією і колійним реле.

Засобами вимірювання визначимо напругу і струм на початку рейкової лінії (U_1 , I_1), а далі – її вхідний імпеданс $Z_{ex} = Z_1 = \frac{U_1}{I_1}$.

Коефіцієнти чотириполюсника рейкової лінії у нормальному режимі роботи із урахуванням їх властивостей $A = D$ та $A \cdot D - B \cdot C = 1$ визначаємо із рівняння передачі

рейкового кола (8), а через них – коефіцієнт розповсюдження рейкової лінії:

$$\gamma = \frac{\operatorname{arcch}(A)}{l} \quad (10)$$

та її хвильовий опір

$$Z_{x\delta} = \frac{B}{\operatorname{sh}(\operatorname{arcch}(A))}. \quad (11)$$

Крім цього, враховуючи, що питомий опір рейок визначається як

$$z = Z_{x\delta} \cdot \gamma, \quad (12)$$

значення коефіцієнту розповсюдження та хвильового опору рейкової лінії можливо відкоригувати, оскільки питомий опір відомий для всіх типів рейок та не залежить від погодних та інших факторів.

Визначивши вторинні параметри рейкової лінії, можна визначити й опір ізоляції:

$$r_i = \frac{Z_{x\delta}}{\gamma}. \quad (13)$$

Оскільки за невеликий проміжок часу опір ізоляції різко не змінюється, то отримані вторинні параметри рейкової лінії можна використовувати для обчислення коефіцієнтів рейкової лінії у шунтовому режимі роботи рейкової лінії при визначенні координати через її вхідний імпеданс.

Із виразу (8) визначимо координату X рухомої одиниці:

$$X = \left| \frac{\ln \left(\frac{Z_{ex} \cdot R_{ui} - Z_{x\delta}^2 + Z_{ex} \cdot Z_{x\delta} - R_{ui} \cdot Z_{x\delta}}{Z_{ex} \cdot R_{ui} - Z_{x\delta}^2 - Z_{ex} \cdot Z_{x\delta} + R_{ui} \cdot Z_{x\delta}} \right)}{2 \cdot \gamma} \right|. \quad (14)$$

При урахуванні вторинних параметрів, визначених за описаним методом, точність визначення координати збільшиться і знаходитиметься у межах до 2 % незалежно від довжини рейкової лінії.

У третьому розділі розглянуто використання індуктивних петель у якості первинних перетворювачів контролю процесу перетину залізничного переїзду автодорожніми транспортними засобами.

Еквівалентна модель системи (рис. 4) містить модель індуктивного контуру (самої петлі), який змонтований у проїжджій частині, та модель лінії передачі (з'єднувальних провідників між блоком електроніки та петлею).

На рис. 4 прийняті наступні позначення елементів: R_{cp} – опір діелектричних втрат матеріалу заповнення порожнини, у якій знаходиться петля; R – активний опір петлі (Ом); R_g – опір заземлення (Ом); C_L^i – внутрішня ємність петлі; C_L^e – зовнішня ємність петлі; L_0 – власна індуктивність петлі; L_i – зовнішня індуктивність петлі.

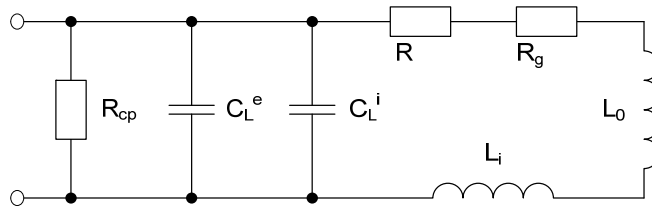


Рисунок 4 – Еквівалентна схема контуру індуктивної петлі

Оскільки петля монтуватиметься у проїзній частині автодороги, необхідно забезпечити максимальну простоту її встановлення. Тому зупинимося на петлі у формі квадрата (прямокутника).

Петлі квадратурної форми, у порівнянні з іншими формами петель, менше відчувають вплив зовнішніх електромагнітних хвиль на значення індуктивності.

Днище (шасі) транспортного засобу, який проходить над вмонтованою у полотно автомобільної дороги індуктивною петлею, являє собою горизонтальний об'єкт, який можна змодельовати як провідну прямокутну пластину, ширина якої визначається шириною транспортного засобу, її довжина дорівнює довжині транспортного засобу на деякій середній висоті шасі (рис. 5, *a*).

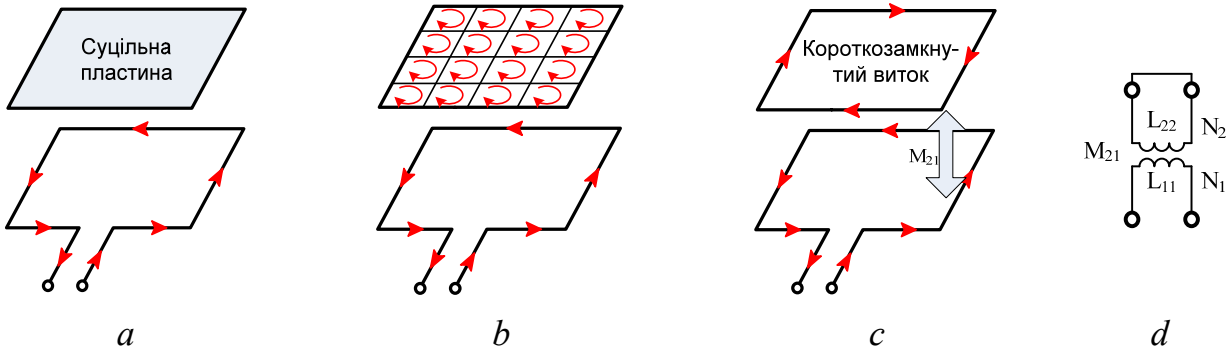


Рисунок 5 – Модель взаємодії днища (шасі) автомобіля із петлею (верхня частина рисунка зображує електричну модель ходової частини автомобіля, нижня – індуктивну петлю)

Для моделювання електричних характеристик такої суцільної пластини можна скористатися сіткою прямокутної форми із симетрично укладених провідників із площею, що дорівнює площі пластини (рис. 5, *b*). Однак у такій сітці всі індуковані внутрішні потоки, які створюються провідниками у межах її периметру, взаємно компенсують один одного, це спричиняє один індукований струм, який протікає тільки периметром сітки, що еквівалентно одному витку петлі прямокутної форми із коротко замкнутими виводами (рис. 5, *c*). Отже, у результаті отримуємо трансформатор із повітряним осердям, у якому первинну обмотку становить датчик у виді індуктивної петлі, змонтованої у проїзній частині дороги, а вторинну – петля прямокутної форми із коротко замкнутими виводами, ширина якої визначається шириною транспортного засобу, її довжина дорівнює довжині транспортного засобу на деякій середній висоті шасі (рис. 5, *d*).

Коефіцієнт зв'язку (чутливість) такого трансформатора виражається як:

$$K = \frac{S_2 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot F_1}{\mu_{r11} \cdot \mu_{r22} \cdot S_1 \cdot (d_{21})^2 \cdot F_2}, \quad (15)$$

де: μ_{r11} , μ_{r22} , – відповідно відносні магнітні проникності матеріалу, у який поміщена петля та автомобіля; n_1 , n_2 – відповідно кількість витків у первинній та вторинній обмотках (індуктивна петля та одиночний виток, який моделює автомобіль); S_1 , S_2 – відповідно площі петлі та ходової автомобіля; d_{21} – відстань між петлею і короткозамкнутим витком (відстань від поверхні дороги до днища автомобіля); F_1 , F_2 – коефіцієнти урахування неоднорідності магнітного потоку у межах індуктивної петлі (проїзна частина) та за її межами (дорожній просвіт, автотранспортний засіб тощо) відповідно.

Для точнішого прогнозування продуктивності системи, була розроблена еквівалентна модель петлі та запрограмована у програмному комплексі LabVIEW. Дана модель також використовувалась для розрахунку індуктивності, чутливості та добротності системи виявлення залежно від частоти, типу провідників петлі, відстані між провідниками у петлі тощо.

Проведений аналіз та розрахунки індуктивної петлі, яка використовуватиметься у якості датчика автодорожніх транспортних засобів, показують, що ця петля повинна бути виконана у вигляді прямокутника, або квадруполя із розмірами: ширина – 2 м та довжина – 1 м; мати 4 витки одножильного монолітного провідника марки ПВ-1 0,5.

У якості петлі виявлення автодорожніх транспортних засобів можливе також використання і кабелю типу СБЗПу 4х0,9, який використовується у господарстві автома-

тики і телемеханіки. Для цього необхідно кабель укласти у формі прямокутника чи квадруполя і його жили з'єднати послідовно одна за одною. У результаті буде отримано петлю відповідної форми із чотирма витками.

У четвертому розділі, з метою перевірки отриманих значень індуктивностей петлі, були проведені експерименти, в ході яких перевірялося значення індуктивності петлі, величина зміни її індуктивності при наявності в її межах автомобіля та процес зміни індуктивності по мірі наїзду авто на петлю та покинення ним меж петлі.

У результаті проведених досліджень встановлено:

- найбільша чутливість усіх петель до наявності автомобіля на частотах у межах від 7,5 до 35 кГц (> 10 %) (максимум – на частоті 20 кГц);
- чутливість петель квадрупольної форми більша за чутливість петель у формі прямокутника;
- чутливість петель на частотах понад 80 кГц знижується.

Також було проведено експерименти, у процесі яких здійснювалися вимірювання значення індуктивності петлі по мірі наїзду авто на петлю та покинення ним меж петлі. Оскільки чутливість петель квадрупольної форми більша від чутливості петель у формі прямокутника, для проведення цих експериментів було обрано петлю квадрупольної форми розмірами 1x2 м. Експеримент проводився на частоті максимальної її чутливості (20 кГц) із автодорожніми транспортними засобами різних типів: легковий автомобіль Volkswagen Golf II; вантажний автомобіль «ЗИЛ 130», бортовий; вантажний автомобіль «КРАЗ-65053» (автокран КТА-32); автобус міський Богдан А-092.02; бронетранспортер БТР-4 «Буцефал».

За результатами проведених експериментів отримано висновок, що індуктивність петлі квадрупольної форми при наїзді автодорожнього транспортного засобу змінюється у межах від 184,17 мкГн (за відсутності засобу) до 144,23–154,6 мкГн (залежно від наявного засобу). Це свідчить про те, що всі із зазначених автодорожніх транспортних засобів виявлялися петлею і налаштування блоку електроніки можна встановити на межі біля 160 мкГн, при досягненні якої фіксуватиметься проходження транспортного засобу.

У п'ятому розділі розглянуто алгоритми роботи розробленої комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах шляхом контролю за рейковими та автодорожніми транспортними засобами, функціональна схема якої складається із наступних підсистем (рис. 6):

- ПВНС – визначення напруги і струму на початку рейкової лінії вимірювальної ділянки;
- ПКНАЗ – контролю за наявністю автодорожніх транспортних засобів у межах переїзду;
- ПОУ – проведення обчислень та управління автоматичною переїзною сигналізацією (АПС) і роботою сигнальної установки (СУ) ділянки наближення.

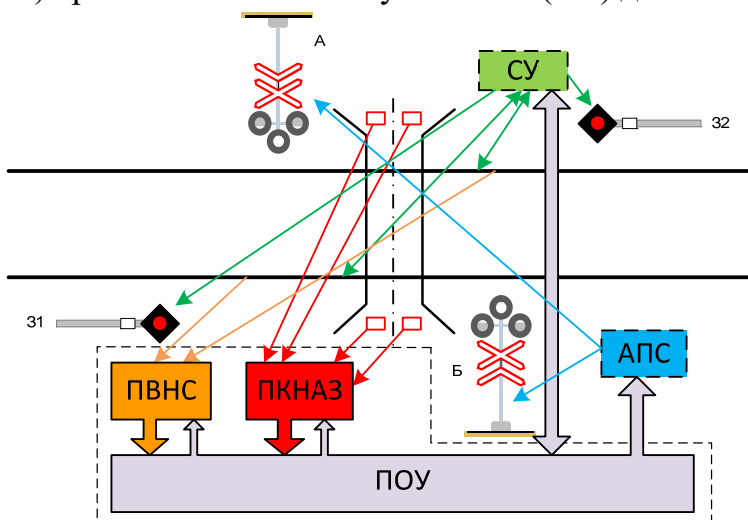


Рисунок 6 – Функціональна схема комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах

Робота системи базується на вимірюванні значень напруг і струмів на початку рейкової лінії вимірювальної ділянки у визначені моменти часу підсистемою ПВНС, контролю наявності у межах залізничного переїзду автодорожніх транспортних засобів підсистемою ПКНАЗ та обробкою отриманої інформації від зазначених підсистем і видачі відповідних рішень (команд) підсистемою ПОУ. Крім цього, підсистема ПОУ зберігає всю необхідну інформацію та здійснює управління роботою решти підсистем.

Основою системи є підсистема проведення обчислень та управління автоматичною переїзною сигналізацією і роботою сигнальної установки ділянки наближення до залізничного переїзду. Алгоритм її роботи відбувається за замкнутим циклом. Спочатку здійснюється періодичне самотестування системи і якщо його результат негативний, то система не втручається у роботу АПС і остання працює у штатному режимі.

У випадку, коли система справна, здійснюється перевірка наявності поїзда на вимірювальній ділянці. Якщо поїзд на вимірювальній ділянці відсутній і рейкове коло працює у нормальному режимі роботи то здійснюється періодичне визначення вторинних параметрів рейкової лінії та їх запам'ятовування для подальшого використання. У випадку, коли на вимірювальній ділянці наявна рухома одиниця, виконується підпрограма визначення координати, швидкості та прискорення рейкової рухомої одиниці, відображається на табло напрям її руху.

Далі порівнюється реальна (визначена) швидкість рейкової рухомої одиниці із максимально можливою (дозволеною) на даній ділянці. У випадку, коли визначена швидкість рівна максимальній (із певним допуском), то затримка часу не встановлюється і АПС працює у штатному режимі, у іншому випадку визначається час затримки на спрацювання АПС.

У момент часу, коли поїзд заходить у межі ділянки наближення до залізничного переїзду, запускається відлік часу затримки із його відображенням на інформаційному табло для водіїв автотранспортних засобів поряд із напрямом руху поїзда. Після завершення відліку вмикається АПС і здійснюється перевірка наявності автодорожніх транспортних засобів у межах залізничного переїзду засобами підсистеми ПКНАЗ. У випадку, якщо у межах залізничного переїзду знаходиться автотранспорт, виконується підпрограма управління сигнальною установкою. Якщо автотранспорт відсутній, очікуємо звільнення поїздом меж залізничного переїзду шляхом постійної перевірки і, коли поїзд звільнить межі переїзду, після перевірки відсутності поїзда на вимірювальній ділянці та ділянці наближення до залізничного переїзду, вмикається табло, а АПС завершує свою роботу у штатному режимі. Після цього відбувається перехід на початок алгоритму.

Якщо після звільнення поїздом меж залізничного переїзду інший поїзд знаходиться на вимірювальній ділянці, то здійснюється перехід на підпрограму визначення координати, швидкості і прискорення, а далі – за алгоритмом, описаним раніше.

Якщо після звільнення поїздом меж залізничного переїзду інший поїзд знаходиться на ділянці наближення, то встановлюється час затримки на спрацювання АПС рівний нулю і в роботу АПС система не втручається, чим забезпечується збереження переїзду у закритому для проїзду автодорожніх транспортних засобів стані.

Уведення табло, де відображається напрям руху поїзда, який наближається до залізничного переїзду, та час, що залишився до спрацювання переїзної автоматики, сприятиме тому, що водії великогабаритних, а особливо тихохідних автодорожніх транспортних засобів, оцінивши ситуацію, зможуть прийняти правильне рішення щодо перетину меж залізничного переїзду чи вибору оптимальної швидкості руху.

У роботі підпрограми управління роботою сигнальної установки спочатку здійснюється перевірка кількості проходів підпрограми, якщо це другий прохід, то необхідно у рейкове коло ділянки наближення до залізничного переїзду, з метою значного зниження швидкості рейкової рухомої одиниці, транслювати код «КЖ» та увімкнути

загороджувальні світлофори. Якщо ж прохід перший – необхідно зменшити значність кодів, які транслюються в рейкове коло ділянки наближення до переїзду.

Робота підсистеми контролю за наявними автотранспортними засобами у межах залізничного переїзду полягає у тому, що вона, засобами індуктивних датчиків контролює входження та вихід автодорожніх транспортних засобів у його межі. Завдяки цьому досягається можливість відліку кількості транспортних засобів, які перетинають даний залізничний переїзд, що також потрібно і при визначенні категорії переїзду.

ВИСНОВКИ

У даній дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності контролю параметрів руху залізничних та автодорожніх транспортних засобів у межах дії систем забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах. Основні наукові результати та висновки дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Проведений аналіз стану безпеки на залізничних переїздах України свідчить про те, що на залізничних переїздах відбувається близько 4,5 % від загальної кількості ДТП на мережі автодоріг, однак їх наслідки значно важчі. У середньому на залізничних переїздах з летальним наслідком кожна четверта ДТП (на мережі автодоріг 1 загиблий на 30 ДТП). Найбільша кількість ДТП (понад 60 %) здійснюється на залізничних переїздах без чергового працівника, які обладнані сигналізацією. Аналіз стану аварійності на залізничних переїздах у США, країн Європи та Росії свідчить про те, що дана проблема актуальна не тільки для залізничних переїздів на території України.

2. На основі літературного аналізу зроблено висновок, що найефективнішими для контролю наявності автодорожніх транспортних засобів у межах залізничних переїздів є індуктивні перетворювачі, що пов'язано із основними їх перевагами: значний термін експлуатації; забезпечує визначення основних параметрів автотранспорту (наприклад, розміри, наявність у зоні дії датчика, розміщення у просторі, швидкість та напрям руху тощо); нечутливість до атмосферних впливів.

3. Удосконалено метод визначення часу затримки на спрацювання переїзної автоматики, при використанні якого максимальний час очікування автодорожніх транспортних засобів від моменту спрацювання переїзної сигналізації до моменту входження голови поїзда у межі залізничного переїзду у порівнянні з існуючими системами на ділянці наближення довжиною 1,5 км із максимальною швидкістю руху поїздів 140 км/год. зменшується від 560 с до 108 с (у 5,2 рази) і становить не більше 2 хв.

4. Удосконалено метод визначення відстані від переїзду до поїзда на ділянці наближення, його швидкості та прискорення шляхом вимірювання параметрів рейкових кіл та здійснено моделювання змін електричних параметрів рейкового кола для різних режимів його роботи з додатковим визначенням опору ізоляції баласту. Встановлено, що при використанні даного методу координата закриття переїзду не залежить від довжини ділянки наближення, а ефективність пристрою зростає при зменшенні фактичної швидкості руху поїздів ділянкою наближення.

5. Проведений математичний експеримент у середовищі розробки для візуальної мови програмування LabVIEW 2012 показує, що для кодового рейкового кола змінного струму частотою 50 Гц та довжиною 2,5 км залежно від значення еквівалентного опору ізоляції рейкової лінії та заземлення опор контактної мережі його вхідний імпеданс змінюються, відповідно: у нормальному режимі – в 2,45 рази; у шунтовому режимі – в 2,26 рази; у контрольному режимі – в 11,82 рази.

6. Для будь-яких рейкових кіл із довжиною до 1 км та довільним значенням опору ізоляції баласту їх вхідний імпеданс із максимальною похибкою 3,5 % визначає координату першої колісної пари залізничної рухомої одиниці. Для забезпечення точності визначення координати у межах до 2 % незалежно від довжини рейкової лінії здійсню-

ється попереднє визначення опору ізоляції баласту рейкової лінії. З цією метою розроблено метод визначення вторинних параметрів рейкової лінії у нормальному режимі її роботи із подальшим використанням отриманого значення при визначенні координати рейкової рухомої одиниці у шунтовому режимі роботи.

7. Удосконалена математична модель параметрів первинного індуктивного перетворювача дає змогу підвищити точність їх визначення на 4,2 % завдяки врахуванню впливу поверхневого шару землі та дорожнього покриття на переїзді. При використанні розробленої математичної моделі отримані наступні параметри первинного індуктивного перетворювача у виді петлі: петля повинна бути виконана у виді прямокутника, або квадруполя із розмірами: ширина – 2 м та довжина – 1 м; мати 4 витки одножильного монолітного провідника марки ПВ 1 0,5. У якості петлі виявлення автодорожніх транспортних засобів можливе також використання і кабелю типу СБЗПу 4x0,9, який використовується у господарстві автоматики і телемеханіки. З'єднувальні провідники між петлею та блоком електроніки повинні мати довжину не більше 50 м.

8. Проведені експериментальні вимірювання параметрів індуктивних датчиків контролю автодорожніх транспортних засобів свідчать про те, що: найбільша чутливість усіх петель до наявності автомобіля на частотах у межах від 7,5 до 35 кГц (максимум – на частоті 20 кГц); чутливість петель квадрупольної форми (21,7 %) більша за чутливість петель у формі прямокутника (14,5 %) у 1,5 рази; чутливість петель на частотах понад 80 кГц знижується внаслідок дії скін-ефекту у провідниках петель.

9. За результатами проведених експериментів також можна стверджувати, що індуктивність петель квадрупольної форми при наїзді автодорожнього транспортного засобу змінюється у межах від 184,17 мкГн (за відсутності засобу) до 144,23–154,6 мкГн (залежно від наявного засобу). Це свідчить про те, що всі з автодорожніх транспортних засобів, які брали участь у експерименті, виявлялися петлею.

10. Запропонований метод роботи та структура комплексної системи контролю за параметрами руху транспортних засобів у межах системи забезпечення безпеки на залізничних переїздах поєднує одночасний контроль руху поїзда ділянкою наближення до переїзду з визначенням часу затримки на спрацювання переїзної автоматики. Завдяки цьому фіксується час закритого стану переїзду для автодорожніх транспортних засобів та, з метою запобігання небезпечній ситуації та подачі попереджувальних сигналів на пристрої безпеки поїзда, здійснюється контроль за наявністю автотранспорту в межах залізничного переїзду.

11. При запровадженні запропонованої комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах ймовірність ДТП у межах залізничного переїзду із автоматичною сигналізацією без чергового працівника становитиме не більше 0,0002, а у межах залізничного переїзду із автоматичною сигналізацією та автоматичними шлагбаумами – не більше 0,00005.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Болжеларський Я. В. Аналіз прийнятої методики розрахунку часу сповіщення та ділянки наближення залізничних переїздів / Я. В. Болжеларський, О. М. Возняк, А. С. Куйбіда. // Залізничний транспорт України. – К.: ДНДЦ УЗ, 2012. – № 6. – С. 3–7. (Перелік фахових видань, РИНЦ)

2. Havryliuk V. I. Improving the positioning accuracy of train on the approach section to the railway crossing / V. I. Havryliuk, O. M. Voznyak, V. V. Meleshko // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 9–18. (doi: 10.15802/stp2016/ Перелік фахових видань, Index Copernicus, РИНЦ).

3. Возняк О. М. Забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах : Монографія / О. М. Возняк, В. І. Гаврилук.; Під ред. Гаврилюка В. І. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2016. – 282 с.

4. Орловська О. В. Загальні принципи оцінки економічної ефективності заходів підвищення безпеки руху / О. В. Орловська, Я. В. Болжеларський, О. М. Возняк // Залізничний транспорт України. – К.: ДНДЦ УЗ, 2016. – № 3/4. – С. 45–52. (Перелік фахових видань, РИНЦ)

5. Возняк О. М. Визначення режимів роботи рейкових кіл за їх характеристичними параметрами / О. М. Возняк // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк: [б. в.], 2013. – № 33. – С. 219–224. (Режим доступу: URL: <http://ea.drtpi.donetsk.ua:8080/jspui/handle/123456789/389> Перелік фахових видань).

6. Возняк О. М. Застосування методів розпізнавання станів рейкової лінії для визначення режиму роботи рейкових кіл / О. М. Возняк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2013. – № 6. – С. 66–70. (Режим доступу: URL: <http://ecsrt.diit.edu.ua/article/view/51290> Перелік фахових видань).

7. Возняк О. М. Стан безпеки на залізничних переїздах / О. М. Возняк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2014. – № 8. – С. 57–62. (Режим доступу: URL: <http://ecsrt.diit.edu.ua/article/view/57931> Перелік фахових видань, Index Copernicus).

8. Возняк О. М. Методи, заходи та засоби підвищення безпеки руху на залізничних переїздах / О. М. Возняк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2015. – № 9. – С. 65–75. (Перелік фахових видань, Index Copernicus)

9. Возняк О. М. Оцінка стану безпеки руху на залізничних переїздах / О. М. Возняк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2015. – № 10. – С. 69–76. (Перелік фахових видань, Index Copernicus)

10. Лучко И. И. Техническая диагностика транспортных сооружений при изменяющихся нагрузках и температурах / И. И. Лучко, В. В. Ковальчук, О. М. Возняк // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2015. – № 4. – С. 42–48. (Перелік фахових видань)

Праці апробаційного характеру

11. Болжеларський Я. В. Особливості розрахунку часу сповіщення та ділянки наближення залізничних переїздів / Я. В. Болжеларський, О. М. Возняк, А. С. Куйбіда // Безопасность и электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте: тез. V Междунар. науч.-практ. конф.: 14.02.2012–17.02.2012 / Дніпропетр. нац. ун-т зал. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – С. 14–15.

12. Возняк О. М. Системи залізничної автоматики і телемеханіки як об'єкт судової залізнично-транспортної експертизи: Матеріали Міжнар. науково-практ. конференції «Сучасні тенденції розвитку судової експертизи». – Сімферополь, 2012. – С. 197–200.

13. Возняк О. М. Метод визначення режиму роботи рейкового кола за його характеристичними параметрами. // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: Управління, економіка, технології». – Київ, 2013. – С. 149–150.

14. Патент UA №93502 МПК B68L 29/00; G08G 1/16 Спосіб підвищення безпеки руху довгоскладових та тихохідних автотранспортних засобів на залізничних переїздах / Возняк О. М., Болжеларський Я. В.; заявник Возняк О. М. – u2014 02300; заяв. 06.03.2014 р., опублік. 10.10.2014 Бюл. №19.

15. Патент UA №93602 МПК B61L 29/00 Спосіб запобігання загрозі безпеки руху

у межах залізничного переїзду / Возняк О. М., Гаврилюк В. І.; заявник Возняк О. М. – u2014 04253; заяв. 22.04.2014, опублік. 10.10.2014 Бюл. №19.

16. Возняк О. М. Підвищення безпеки на залізничних переїздах за рахунок контролю процесу їх перетину автодорожніми транспортними засобами // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 75 Междунар. научно-практ. конф. (Днепропетровск, 14–15 мая 2015 г.). – Дніпропетровськ: ДИИТ, 2015. – С. 201–203.

17. Орловська О. В. Загальні принципи оцінки економічної ефективності заходів підвищення безпеки руху / О. В. Орловська, Я. В. Болжеларський, О. М. Возняк // Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд: Тези Міжнародної науково-практичної конференції імені засновника судової залізнично-транспортної експертизи, доктора технічних наук Сокола Едуарда Миколайовича (Львів 09–11 вересня 2015 р.). Дніпропетровськ: ДІТ, 2015. – С. 19–20.

18. Возняк О.М. Підвищення безпеки на залізничних переїздах за рахунок використання систем із фіксованим часом сповіщення // Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд: Тези Міжнародної науково-практичної конференції імені засновника судової залізнично-транспортної експертизи, доктора технічних наук Сокола Едуарда Миколайовича (Львів 09–11 вересня 2015 р.). Дніпропетровськ: ДІТ, 2015. – С. 26.

19. Гаврилюк В. І. Підвищення безпеки пристроїв переїзної сигналізації з інтелектуальною обробкою контрольованих параметрів. / В. І. Гаврилюк, О. М. Возняк // Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд: Тези Міжнародної науково-практичної конференції імені засновника судової залізнично-транспортної експертизи, доктора технічних наук Сокола Едуарда Миколайовича (Львів 09–11 вересня 2015 р.). Дніпропетровськ: ДІТ, 2015. – С. 38–39.

20. Патент №105415 МПК В61L 29/00; G08G 1/042; G08G 1/16 Спосіб підвищення безпеки руху на залізничному переїзді за рахунок управління ситуацією в його межах / Возняк О. М., Кусяк О. П.; заявник Кусяк О. П. – № u2015 05348; заяв. 02. 06. 2015, опублік. 25.03.2016 Бюл. №6.

21. Гаврилюк В. И. Повышение безопасности движения на железнодорожных переездах путем организации дополнительного контроля параметров движения поезда / В. И. Гаврилюк, Д. А. Василишин, В. В. Мелешко, О. М. Возняк // Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании: Тезисы IX Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 16–17 декабря 2015 г.). – Дніпропетровськ: ДИИТ, 2015. – С. 18.

22. Гаврилюк В. И. Повышение безопасности движения поездов на железнодорожных переездах / В. И. Гаврилюк, О. М. Возняк // Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: тези VII Міжнар. науково-практичної конф., 16–19 лютого 2016 р., с. Розлуч. – Дніпропетровськ: ДІТ, 2016. – С. 21.

23. Возняк О. М. Підвищення безпеки на залізничних переїздах за рахунок контролю процесу їх перетину автодорожніми транспортними засобами / Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: тези VII Міжнар. науково-практ. конф., 16–19 лютого 2016 р., с. Розлуч. – Дніпропетровськ: ДІТ, 2016. – С. 20.

Додаткові праці:

24. Luchko J. Device for measuring and evaluation stress-strain state transport facilities at variable load and temperature / J. Luchko, V. Kovalchuk, O. Vozniak // Durable Repair Methods in Buildings, Chapter: Science, research, technologies. – Wrocław: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, – 2015. – P. 13–22.

25. Luczko J., Kovalchuk V., Vozniak O. Urządzenie do mierzenia i oceny stanu naprezenia-odkształcenie srodkow transportu przy zmiennym obciążeniu i temperaturze. //

Materialy II Międzynarodowej Konferencji Naukowej “Trwalosc napraw obiektow budowlanych” 19–21 listopada 2014 r. – Poznan; Agencja Reklamowa COMPRINT. – P. 14.

26. Патент UA 87550 МПК G 01 B 5/30 Пристрій для вимірювання та оцінки напружено-деформованого стану мостових конструкцій при змінних температурах і навантаженнях (ВНДСМК) / Лучко Й. Й., Возняк О. М., Ковальчук В. В.; заявник Ковальчук В. В. – u2013 10779; заяв. 09.09.2013, опублік. 10.02.2014 Бюл. №3.

27. Патент UA 94540 МПК G01B 5/30 Спосіб визначення напружень у мостових конструкціях та металевих гофрованих трубах, які виникають внаслідок дії змінних температур та навантажень / Лучко Й. Й., Возняк О. М., Ковальчук В. В.; заявник Ковальчук В. В. – № u2014 01808; заяв. 24. 02. 2014 р., опублік. 25.11.14 Бюл. №22.

28. Патент UA 97506 МПК F02D 1/08; F02D 1/18 Спосіб регулювання частоти обертання дизельних двигунів тепловозів / Возняк О. М., Петрик В. І.; заявник Петрик В. І. – № u2014 04711; заяв. 21.11.2014, опублік. 25.03.2015 Бюл. №6.

29. Свідоцтво 67725 Україна про реєстрацію авторського права на службовий твір Комп’ютерна програма «Аналіз транзиту вагонів територією України («Вагон – Транзит»))» («Вагон – Транзит») / Козаченко Д. М., Гера Б. В., Кунанець О. О. [та ін.]; – № 68348; заяв. 08. 07. 2016.

АНОТАЦІЯ

Возняк О. М. Підвищення ефективності контролю рухомих одиниць у системах безпеки на залізничних переїздах. – 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, Дніпро 2017.

У даній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності контролю параметрів руху залізничних та автодорожніх транспортних засобів у межах дії систем забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах.

З цією метою удосконалено метод та алгоритм роботи системи безпеки руху на залізничних переїздах, що відрізняється від існуючих наявністю одночасного контролю параметрів руху поїзда ділянкою наближення до переїзду та автотранспорту у межах залізничного переїзду з аналізом ситуації і прийняттям рішення.

Удосконалено математичну модель, яка описує залежність електричних параметрів рейкового кола від режиму його роботи, що відрізняється від існуючої використанням значення опору ізоляції баласту, який визначається з параметрів нормального режиму роботи.

Удосконалено метод визначення відстані від переїзду до поїзда на ділянці наближення та параметрів його руху, який відрізняється від існуючого періодичним контролем опору ізоляції баласту, що дозволяє підвищити точність методу.

Удосконалено математичну модель первинного індуктивного перетворювача системи контролю за рухом автодорожнього транспорту на переїзді, яка відрізняється від існуючих врахуванням впливу на індуктивність та ємність перетворювача поверхнього шару землі та дорожнього покриття на переїзді.

Вперше визначено раціональні параметри первинного індуктивного перетворювача системи контролю за рухом автодорожнього транспорту на переїзді, що дозволяє підвищити його чутливість для всіх стандартних типів автодорожніх транспортних засобів, які рухаються автошляхами України.

Ключові слова: залізничний переїзд, безпека, контроль, транспортний засіб, імітаційне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Возняк О. М. Повышение эффективности контроля подвижных единиц в системах безопасности на железнодорожных переездах. – 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, Днепр 2017.

В данной работе объектом исследований являются процессы у системах обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах, предметом исследований – методы и средства контроля за подвижными железнодорожными и автодорожными транспортными средствами на железнодорожных переездах.

В ней, с использованием общих (анализ, сравнение и синтез) и специальных (метод наименьших квадратов, теория электрических цепей, теория функций комплексной переменной, теория четырёхполюсников, теория матриц, имитационное моделирование, моделирование и экспериментальные исследования на лабораторных макетах и реальных объектах) методов и средств исследований, решена актуальная научно-прикладная задача повышения эффективности контроля параметров движения железнодорожных и автодорожных транспортных средств в пределах действия систем обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах.

С этой целью в работе впервые определены рациональные параметры первичного индуктивного преобразователя системы контроля над движением автодорожного транспорта на переезде, что позволяет повысить его чувствительность для всех стандартных типов автодорожных транспортных средств, которые движутся автодорогами Украины.

Усовершенствован метод определения времени задержки на срабатывание систем переездной автоматики отличающийся от существующего учетом скоростных параметров ускоренных железнодорожных транспортных средств, которые внедрены на железных дорогах на протяжении последних лет.

Усовершенствована математическая модель электрических параметров рельсовой цепи в зависимости от режима ее работы отличающуюся от существующей учетом значения сопротивления изоляции балласта, который определяется из параметров нормального режима работы.

Усовершенствован метод определения расстояния от переезда до поезда на участке приближения и параметров его движения, который отличается от существующего периодическим контролем сопротивления изоляции балласта, что дает возможность повысить точность метода.

Усовершенствована математическая модель первичного индуктивного преобразователя системы контроля за движением автодорожного транспорта на переезде, которая отличается от существующих учетом влияния на индуктивность и емкость преобразователя поверхностного шара земли и дорожного покрытия на переезде.

Усовершенствован метод и алгоритм работы системы, которая обеспечивает безопасность движения на железнодорожных переездах, который отличается от существующих наличием одновременного контроля параметров движения поезда участком приближения к переезду и автотранспорта в пределах железнодорожного переезда с анализом ситуации и принятием решения.

Ключевые слова: железнодорожный переезд, безопасность, контроль, транспортное средство, имитационное моделирование

THE SUMMARY

Voznyak O. M. Improving the efficiency of control parameters of moving objects in the systems of safety at level crossings. – The manuscript.

Thesis for candidate of technical science academic degree competition at 05.22.20 – transport means exploitation and maintenance specialty. Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnipro 2017.

In the work the actual scientific and applied problem of increasing the efficiency of monitoring of railway and road vehicles moving parameters within the borders of traffic safety systems at railway crossings have been solved.

For this purpose the method and algorithm of the traffic safety system for railway crossings have been improved, which differ from existing ones by simultaneous monitoring of the train moving parameters on the approach to crossing site and motor transport in the railway crossing borders with situation analysis and decision making.

The mathematical model describing the dependence of the rail circuits' electrical parameters dependence on their operation modes, which differ from the existing ones by using of the ballast isolation resistance, which is determined from the rail circuits parameters of the normal operating mode, has been improved.

The method for determining the distance from railway crossing to train on the approaching to crossing segment and train moving parameters have been improved, which differs from existing one by periodic monitoring of the ballast isolation resistance and this allows of its accuracy increasing.

The mathematical model of the primary inductive converter of the road traffic monitoring at the level crossing has been improved, which differs from the existing ones by taking into account of the influence of the earth surface layer and roadway covering at the crossing on converter inductance and capacity.

For the first time, the rational parameters of the primary inductive converter of the road traffic control system at the crossing, have been determined, which makes it possible to increase convertor sensitivity for all standard types of road vehicles that moving along the Ukrainian roads.

Keywords: level crossing, traffic safety, control, vehicle, simulation.

ВОЗНЯК ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТРОЛЮ РУХОМИХ ОДИНИЦЬ
У СИСТЕМАХ БЕЗПЕКИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДАХ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 29.03.2017. Формат 60×84 1/16.

Ум. друк. арк. 1,0. Обл.-вид. л. 1,25.

Замовлення № 127 Тираж 100 прим.

Видавництво „Каменяр”

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 462 від 24.05.2001 р.

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Підвальна, 3, Львів, 79008