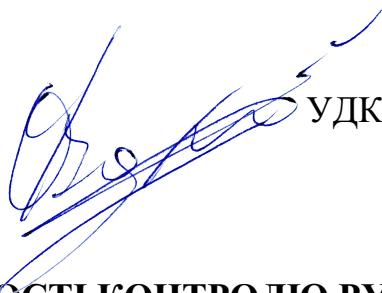


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

ВОЗНЯК Олег Михайлович



УДК 656.216.2:625.096(043.4)

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

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Дисертація
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник –
доктор фізико-математичних наук, професор
Гаврилюк Володимир Ілліч

Дніпро – 2017

ЗМІСТ

<u>ЗМІСТ.....</u>	2
<u>ВСТУП.....</u>	4
<u>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ БЕЗПЕКИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДАХ ТА ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ.....</u>	12
1.1. <u>Показники стану безпеки.....</u>	12
1.2. <u>Аналіз статистичних даних щодо безпеки на залізничних переїздах.....</u>	18
1.3. <u>Аналіз існуючих методів забезпечення безпеки на залізничних переїздах.....</u>	26
1.3.1. <u>Визначення довжини ділянки наближення та часу сповіщення існуючих систем автоматичної переїзної сигналізації (АПС).....</u>	31
1.3.2. <u>Існуючі вдосконалені методи і засоби функціонування систем контролю наближення поїздів.....</u>	35
1.3.3. <u>Методи контролю за рухом автодорожніх транспортних засобів через залізничний переїзд.....</u>	44
1.3.4. <u>Принципи виявлення автотранспортних засобів за допомогою індуктивної-петлі.....</u>	49
1.4. <u>Висновки до розділу.....</u>	50
<u>РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЗАТРИМКИ НА СПРАЦЮВАННЯ ПЕРЕЇЗНОЇ АВТОМАТИКИ ТА КООРДИНАТИ, ШВИДКОСТІ І ПРИСКОРЕННЯ ПОЇЗДА ПРИ НАБЛИЖЕННІ ДО ПЕРЕЇЗДУ.....</u>	53
2.1. <u>Визначення координати закриття переїзду та часу затримки на спрацювання переїзної автоматики.....</u>	53
2.2. <u>Визначення швидкості та прискорення поїзда на вимірювальній ділянці.....</u>	55
2.3. <u>Математична модель визначення режимів роботи рейкового кола.....</u>	60
2.3.1. <u>Інформативні ознаки знаходження рейкового кола у нормальному режимі роботи.....</u>	62
2.3.2. <u>Інформативні ознаки знаходження рейкового кола у шунтовому режимі роботи.....</u>	64
2.3.3. <u>Інформативні ознаки знаходження рейкового кола у контрольному режимі роботи.....</u>	66
2.3.4. <u>Визначення інформативних ознак у різних режимах роботи.....</u>	69
2.4. <u>Визначення режиму роботи рейкової лінії за її характеристичними параметрами.....</u>	72
2.5. <u>Визначення координати накладання шунта.....</u>	78
2.6. <u>Визначення вторинних та первинних параметрів рейкової лінії.....</u>	82
2.7. <u>Висновки до розділу.....</u>	84
<u>РОЗДІЛ 3. ІНДУКТИВНІ ПЕТЛІ У ЯКОСТІ ДАТЧИКІВ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ ПЕРЕТИНУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ПЕРЕЇЗДУ АВТОДОРОЖНІМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ.....</u>	86
3.1. <u>Математична модель індуктивної петлі, яка використовується у якості датчика перетину залізничного переїзду автодорожніми транспортними засобами.....</u>	86
3.1.1. <u>Модель контуру індуктивної петлі.....</u>	87
3.1.2. <u>Модель з'єднувальних провідників між блоком петлею та електроніки.....</u>	94
3.1.3. <u>Виявлення транспортних засобів.....</u>	96

<u>3.2.</u>	<u>Вибір конфігурації та розмірів петлі для використання у якості датчика наявності автодорожнього транспортного засобу.....</u>	<u>100</u>
<u>3.3.</u>	<u>Висновки до розділу.....</u>	<u>106</u>
<u>РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНДУКТИВНИХ ПЕТЕЛЬ.....</u>		<u>108</u>
<u>4.1.</u>	<u>Схема вимірювань та прилади.....</u>	<u>108</u>
<u>4.2.</u>	<u>Експериментальне визначення індуктивності петлі за відсутності та наявності автомобіля у її межах.....</u>	<u>112</u>
<u>4.3.</u>	<u>Експериментальне визначення зміни індуктивності по мірі наїзду автотранспортного засобу на петлю та покинення ним меж петлі.....</u>	<u>119</u>
<u>4.4.</u>	<u>Висновки до розділу.....</u>	<u>128</u>
<u>РОЗДІЛ 5. КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДАХ ШЛЯХОМ КОНТРОЛЮ ЗА РЕЙКОВИМИ ТА АВТОДОРОЖНІМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ.....</u>		<u>130</u>
<u>5.1.</u>	<u>Структура комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах</u>	<u>130</u>
<u>5.1.1.</u>	<u>Алгоритм роботи підсистеми проведення обчислень та управління автоматичною переїзною сигналізацією і роботою сигнальної установки ділянки наближення до залізничного переїзду.....</u>	<u>132</u>
<u>5.1.2.</u>	<u>Опис роботи підпрограм підсистеми проведення обчислень та управління автоматичною переїзною сигналізацією і роботою сигнальної установки.....</u>	<u>135</u>
<u>5.2.</u>	<u>Макети комплексної системи.....</u>	<u>137</u>
<u>5.3.</u>	<u>Підвищення безпеки на залізничних переїздах при використанні комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах.....</u>	<u>140</u>
<u>5.4.</u>	<u>Висновки до розділу.....</u>	<u>144</u>
<u>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</u>		<u>145</u>
<u>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</u>		<u>148</u>
<u>ДОДАТКИ.....</u>		<u>165</u>

ВСТУП

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 [1–8], 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 [9]. 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 як в Україні, так і у інших державах 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 чотириполюсників,

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 E14140 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 використовуються при розробці методики Міністерства юстиції України "Попередження та дослідження залізнично-транспортних пригод у межах залізничних переїздів", яка створена в межах 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 року на базі Київського НДІСЕ, протокол №46) і буде впроваджена в практику спеціалізованих установ та НДІ судової експертизи.

Наукові результати, які отримані в дисертаційній роботі, а також розроблені методи можуть бути використані при модернізації існуючих залізничних переїздів. Математичні моделі та розрахункові дані можуть бути застосовані при визначенні раціональних параметрів датчиків контролю за автодорожніми транспортними засобами у межах залізничних переїздів.

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 [10] – розглянув питання інформаційного огороження

залізничних переїздів та обґрунтування розрахункової швидкості перетину автомобілями його меж; у [11] – дослідив залежність відносної похибки визначення координати поїзда за вхідним імпедансом кодових рейкових кіл, яка зумовлена зміною опору ізоляції баласту; у [12] розглянув сучасний стан безпеки на залізничних переїздах, методи його оцінки, організаційні заходи та технічні методи і засоби щодо підвищення безпеки руху, а також економічні методи оцінки їх ефективності; у [13] – окреслив загальні підходи до економічної оцінки способів підвищення безпеки руху у межах залізничних переїздів, виконав підбір та аналіз статистичних даних; у [14] – 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 [15–19] написані самостійно, без співавторів.

Апробація результатів дисертації.

Основні результати роботи доповідалися та отримали схвалення на: V Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (Дніпропетровськ, лютий 2012 р.) [20]; Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні тенденції розвитку судової експертизи» (Сімферополь, вересень 2012 р.) [21]; VI Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» (Київ, квітень 2013 р.) [22]; 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 napraw obiektow budowlanych» (Польща, Познань, листопад 2014 р.) [23]; 75-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Дніпропетровськ, травень 2015 р.) [24]; 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.) [25–27]; IX Міжнародній науково-практичній конференції «Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании» (Дніпропетровськ, грудень 2015 р.) [28]; VII Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (с. Розлуч, лютий 2016 р.) [29; 30].

У повному обсязі дисертація доповідалась 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, 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, займає 1 сторінку. Список літератури із 149 найменувань викладено на 17 сторінках.

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

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ БЕЗПЕКИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДАХ ТА ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ

1.1. Показники стану безпеки

Оцінка ступеню безпеки дорожнього руху на залізничних переїздах з метою її підвищення є одним із головних завдань як дорожньої експлуатаційної служби, так і служб залізничного транспорту. Вона необхідна для виявлення небезпечних ділянок і розробки заходів щодо поліпшення умов руху на них.

На магістральному залізничному транспорті України практично усі методи виявлення та оцінки небезпечних місць базуються на статистичних даних кількості ДТП. Укравтодором на сьогодні запропонована Методика оцінки рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах України М 218-03450778-652:2008, згідно якої оцінювання рівнів аварійності проводиться за такими показниками:

- коефіцієнт пригод;
- головних статистик розподілу аварійності на ділянках доріг загального користування та частки ДТП, що сталися за умов незадовільного утримання доріг;
- підсумковий коефіцієнт аварійності.

Зазначені показники можуть також використовуватись і для оцінки безпеки руху залізничного транспорту та автотранспортних засобів у зоні залізничних переїздів. Однак найдоцільніше з цією метою використовувати метод підсумкового коефіцієнту аварійності, особливістю якого є те, що він дає змогу оцінити стан безпеки у результаті проведеної модернізації чи нових проектних рішень, тобто в умовах відсутності даних про ДТП. Його величину для залізничного переїзду визначають шляхом перемножування семи часткових коефіцієнтів аварійності

.DSMT4

STYLEREF 1 \s 1. SEQ Формула * ARABIC \s 1 1)

де: – коефіцієнт, який враховує добову інтенсивність руху поїздів через переїзд; – коефіцієнт, який враховує добову інтенсивність руху на автомобільній дорозі; – коефіцієнт, який враховує відстань видимості поїзда; – коефіцієнт, який враховує устаткування переїзду; – коефіцієнт, який враховує штучне освітлення переїзду; – коефіцієнт, який враховує радіус кривої у плані на підходах до переїзду; – коефіцієнт, який враховує подовжній ухил автомобільної дороги на підходах до переїзду.

Значення коефіцієнту визначається за формулою

.DSMT4

,(STYLEREF 1 \s 1. SEQ Формула * ARABIC \s 1 2)

2)

де – інтенсивність руху поїздів через переїзд (поїздів/добу).

Значення решти коефіцієнтів

наведено в таблицях 1.1 – 1.6.

Таблиця 1.1.

Значення коефіцієнта

Показник	Інтенсивність руху автодорогою, авт/добу					
	< 500	501...1000	1001...3000	3001...5000	5001...7000	> 7000
Значення	0,42	0,55	0,80	1,14	1,50	2,05

Таблиця 1.2.

Значення коефіцієнта

Значення	Відстань видимості переїзду та поїзда, м					
	< 50	51...100	101...200	201...300	301...400	> 400
для переїздів з черговим, які обладнані шлагбаумами та на переїздах, які обладнані, автоматичною світлофорною сигналізацією з автоматичними шлагбаумами;	3,2	2,8	2,0	1,6	1,3	0,9
для переїздів без чергового, які обладнані дорожніми знаками та автоматичною світлофорною сигналізацією без шлагбаумів	6,5	5,1	4,0	2,5	1,42	1,0

За величиною підсумкового коефіцієнта аварійності оцінюється стан руху на залізничному переїзді: до 40 – безпечний; 41...60 – мало небезпечний; 61...80 – небезпечний; більше 81 – дуже небезпечний.

Таблиця 1.3.

Значення коефіцієнта

Обладнання переїзду	Значення на переїздах:	
	із черговим	без чергового
Автоматичний шлагбаум із автоматичною світлофорною сигналізацією	1,6	4,0
Автоматична світлофорна сигналізація	2,2	4,4
Механізовані шлагбауми зі сповіщальною сигналізацією	4,8	-
Механізовані шлагбауми без сигналізації	9,1	-
Дорожні знаки	-	7,45

Таблиця 1.4.

Значення коефіцієнта

Штучне освітлення переїзду	Значення на переїздах:	
	із черговим	без чергового
Наявне	1,0	1,4
Відсутнє	-	1,5

Також показник небезпеки використовують для визначення збитку від дорожньо-транспортних подій, що виникають на залізничних переїздах і для обґрунтування інвестицій в устаткування і реконструкцію цих об'єктів.

Необхідно також зазначити, що на магістральному залізничному транспорті існує також коефіцієнт аварійності залізничних переїздів, значення якого визначається як кількість дорожньо-транспортних пригод на сто залізничних переїздів. Цей коефіцієнт визначається за певний період часу, у переважній більшості його визначають за один рік.

У Сполучених штатах Америки для оцінки ступеню небезпеки конкретного залізничного переїзду користуються моделлю прогнозування аварій Департаменту транспорту США (DOT).

Дана модель призначена для прогнозування, в абсолютних значеннях кількості ДТП, які відбуваються протягом певного періоду часу при заданих умовах у межах залізничних переїздів. Вона поєднує в собі три незалежні обчислення для отримання значення прогнозованої кількості ДТП. Основна формула забезпечує початкове ранжування небезпеки, беручи за основу характеристики переїзду. Другий розрахунок використовує реальну історію кількості ДТП на переїзді протягом певної кількості років. Третє рівняння додає нормалізуючу константу, яка, з метою збереження збігу з сучасними тенденціями ДТП, періодично коригується.

Для кожної із трьох категорій Основна формула прогнозування кількості ДТП виражається у виді ряду факторів (коефіцієнтів) кожен з яких становить певну характеристику переїзду. Добуток цих факторів і визначає прогнозовану кількість ДТП на переїзді за рік:

.DSMT4

(STYLEREF 1 \s 1. SEQ Формула * ARABIC \s 1 4)

де: – прогнозована кількість ДТП на переїзді за рік; – постійна формули (залежить від типу переїзду); – (exposure index) коефіцієнт, який залежить від інтенсивності руху автодорогою та колією; – (main tracks) коефіцієнт, який залежить від кількості колій, які перетинає автодорога; – (day trains) коефіцієнт, який залежить від кількості поїздів в день в денний час; – (highway paved) коефіцієнт, який залежить від покриття на автодорозі; – (maximum speed) коефіцієнт, який залежить від максимальної швидкості поїздів; – (highway type) коефіцієнт, який залежить від типу автодороги; – (highway lanes) коефіцієнт, який залежить від кількості смуг автодороги (у одному напрямі).

Для кожної із трьох категорій залізничних переїздів (пасивні, із світлофорною сигналізацією та автоматичною сигналізацією із шлагбаумами) використовуються різні набори коефіцієнтів, які наведені у табл. 1.8.

Таблиця 1.8

Значення факторів (коефіцієнтів), залежно від типу переїзду

Категорія переїзду	Коефіцієнти							
	Постійна формули	Інтенсивність руху	Кількість колій	Кількість поїздів	Покриття на дорозі	Максимальна швидкість	Тип дороги	Кількість полос дороги

Пасивний	0,002268							1
Світлофор	0,00364				1	1	1	
Шлагбаум	0,001088			1	1	1	1	

У таблиці: – річна середня кількість автодорожніх транспортних засобів за день (всього в обох напрямках); – середня загальна кількість поїздів за добу;
– кількість головних колій; – середня кількість поїздів за день в денний час;
– асфальт = 1,0, ні = 2,0; – максимальна швидкість поїздів, км/год.;
– тип (клас) автодороги (табл. 1.9); – кількість смуг (у одному напрямі).

Таблиця 1.9

Значення коефіцієнтів для типів доріг	
Тип дороги	Значення
Міждержавні	1
Інші головні артерії та швидкісні дороги	2
Інші головні дороги	3
Незначні дороги	4
Місцеві дороги	5; 6

Після 3-5 років експлуатації залізничного переїзду значення коефіцієнту корегується із урахуванням кількості ДТП, які відбулися на даному переїзді:

.DSMT4

,(STYLEREF 1 \s

1. SEQ Формула * ARABIC \s 1 5)

де: – корегована кількість ДТП на залізничному переїзді за рік; – початкове

річне значення кількості ДТП визначене за основною формулою; – історія ДТП за попередні роки; – кількість ДТП, за років спостереження.

Формула дає найбільш точні результати, якщо використовується вся доступна історія ДТП. Проте, ступінь поліпшення мінімальна, якщо використовуються дані для більше ніж п'яти років, що може вводити в оману внаслідок змін, які відбуваються з характеристиками переїзду за цей час. Якщо значні зміни відбулися на переїзді протягом останніх п'яти років, слід використовувати тільки дані про ДТП з моменту такої зміни.

З метою збереження збіжності із тенденціями кількості ДТП, остаточне значення коефіцієнту отримують застосовуючи нормалізуючу константу,

значення якої множать на отримане значення коефіцієнта .

Додаткові рівняння в рамках моделі США DOT використовуються також і для прогнозування ймовірності смертельних випадків і травм на конкретному переїзді.

Отже, основними показниками, які характеризують безпеку на залізничних переїздах є статистичні дані щодо кількості аварій та їх наслідків. Крім цього, для систем, які модернізуються чи запроваджуються оцінку рівня безпеки можна здійснити за методами підсумкового коефіцієнту аварійності, коефіцієнту небезпеки та за моделлю прогнозування аварій Департаменту транспорту США (DOT).

1.2. Аналіз статистичних даних щодо безпеки на залізничних переїздах

Значне та неухильне зростання кількості транспортних засобів на мережі доріг, підвищення їх вантажопідйомності, швидкісних показників сприяє значному збільшенню інтенсивності руху на залізничних переїздах, що спричиняє збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод. Це, у свою чергу, висуває нові вимоги до облаштування місць перетину автомобільних доріг та залізничних колій, їх утримання, застосування додаткових заходів щодо підвищення безпеки руху, застосування профілактичних заходів щодо зміцнення дорожньої дисципліни водіїв.

Згідно даних [1–8] у табл. 1.10 наведено динаміку зміни кількості транспортних засобів на автодорогах України, переїздів на залізницях України та розраховано транспортне навантаження (кількість транспортних засобів на один переїзд). Для зручності оцінки та аналізу дані табл. 1.10 наведені у виді графіків рис. 1.1.

Таблиця 1.10

Динаміка зміни транспортного навантаження на залізничні переїзди

Кількісний параметр	Роки				
	2007	2008	2009	2010	2011
Автотранспортні засоби, тис. од.	7215,0	7771,4	7866,0	8127,5	8561,1
Залізничні переїзди, од.	5816	5742	5735	5661	5574
Транспортне навантаження	1240,54	1353,43	1371,58	1435,70	1535,90

Проаналізувавши дані табл. 1.10 та рис. 1.1 можна зробити висновок, що за п'ять років кількість транспортних засобів збільшилася на 1346,1 тис. од. (18,66%) та кількість залізничних переїздів скоротилася на 155 од. (2,67%), що спричинило зростання транспортного навантаження на один переїзд на 271,75 автомобілів, що становить 21,91%.

У свою чергу кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП) на залізничних переїздах завжди була високою. У табл. 1.11 [3–8; 17] наведено кількість дорожньо-транспортних пригод та їх наслідки за сім останніх років.

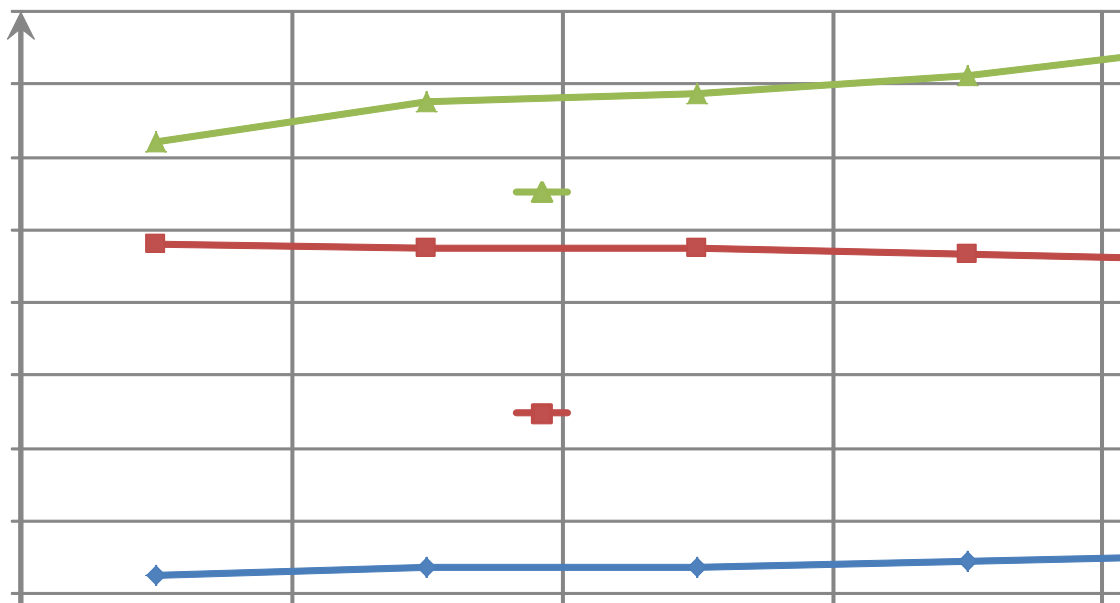


Рисунок 1.1 – Динаміка змін кількості транспортних засобів, поїздів та транспортного навантаження

Таблиця 1.11

Стан аварійності на залізничних переїздах УЗ

Параметр	Роки					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ТЗ збито поїздом	91	65	75	85	57	67
ТЗ в'їхав вбік поїзду	10	15	14	9	10	6
Всього ДТП	101	80	89	94	67	73
Загинуло осіб	73	14	12	23	9	12
Травмовано осіб	46	22	38	27	34	32
Всього постраждалих	119	36	50	50	43	44

Реальний стан у сфері забезпечення безпеки руху на переїздах постійно вимагає нових підходів та рішень, адже статистика показує [1–8], що на залізничних переїздах відбувається біля 4,5% від загальної кількості ДТП на мережі автодоріг, однак їх наслідки значно важчі (як людські, так і матеріальні втрати). Як видно із таблиці 1.11, у середньому, на залізничних переїздах, з летальним наслідком кожна четверта ДТП (на мережі автодоріг 1 загиблий на 30 ДТП).

У табл. 1.12 наведено розподіл ДТП за типами залізничних переїздів і за її даними побудовано діаграму розподілу ДТП за типами переїздів за шість останніх років (рис. 1.2), а загальна кількість переїздів та розрахунок кількості аварій на 100 залізничних переїздів (коефіцієнту аварій) наведена у табл. 1.13.

Таблиця 1.12

Розподіл ДТП за типами переїздів

Тип переїзду	Рік						за 6 років
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Без чергового із сигналізацією	67	42	62	62	37	36	306
Без чергового без сигналізації	9	8	9	12	11	9	58

З черговим та із сигналізацією	17	16	8	10	7	14	72
З черговим без сигналізації	1	0	0	0	0	1	2
Поза переїздами	7	14	10	10	12	13	66
Всього ДТП	101	80	89	94	67	73	504

Розподіл ДТП за переїздами

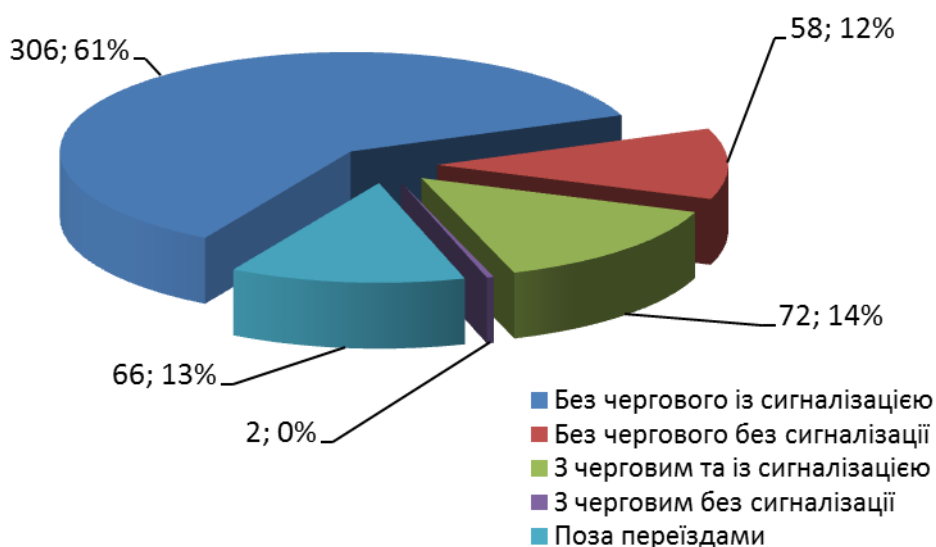


Рисунок 1.2 – Розподіл ДТП за типами переїздів

Із даних, наведених у таблицях 1.12, 1.13 та на рис. 1.2 можна зробити висновок, що найбільша кількість ДТП (понад 60%) здійснюється на залізничних переїздах без чергового працівника, які обладнані сигналізацією. Це свідчить про те, що залізничні переїзди, особливо, без чергового працівника, які обладнані сигналізацією потребують додаткових засобів контролю перетину залізничного переїзду автодорожнім транспортом.

Таблиця 1.13

Кількість аварій на 100 залізничних переїздів

Тип переїзду	2010			2011			2012			2013		
	переїз- дів	ДТП	коэф	переїз- дів	ДТП	коэф	переїз- дів	ДТП	коэф	переїз- дів	ДТП	коэф
Без чергового з сигналізацією	2827	67	2,37	2781	42	1,51	2755	62	2,25	2699	62	2,30
Без чергового без сигналізації	1383	9	0,65	1352	8	0,59	1279	9	0,70	1226	12	0,98
З черговим з сигналізацією	1415	17	1,20	1410	16	1,13	1412	8	0,57	1468	10	0,68
З черговим без сигналізації	36	1	2,78	31	0	0,00	31	0	0,00	29	0	0,00
Всього	5661	101	1,78	5574	80	1,44	5477	89	1,62	5432	94	1,73

Проблема ДТП на залізничних переїздах є актуальною і за межами нашої держави. Так, на рис. 1.3 наведено інформацію про стан аварійності на залізничних переїздах Сполучених штатів (за даними Федеральної адміністрації залізничного транспорту (FRA) [32; 33]). У США нараховується біля 210 тисяч перетинів автомобільних доріг із залізничними коліями на одному рівні. З них тільки 46 тисяч обладнані шлагбаумами, 21,8 тисяч світловими попереджувальними сигналами. Всього за 2013 рік на цих залізничних переїздах сталося 1539 ДТП у результаті яких загинуло 231 особа та 971 особа отримала травми різної ступені тяжкості (за 2007 рік — у 2778 ДТП загинуло 339 та травмовано 1059 осіб).

На рис. 1.4 наведено стан аварійності на залізничних переїздах Німеччини, на рис. 1.5 – Великобританії. На рис. 1.6 – зведені дані за країнами Європи EU-28. Інформація рис. 4 – 6 за даними Європейської асоціації залізничного транспорту ERA [34; 35]. У країнах, які входять до складу Європейської асоціації залізничного транспорту, у загальному, станом на кінець 2013 року нараховується 64700 активних залізничних переїздів, де сталося 528 інцидентів, у яких загинуло 315 і тяжко травмовано 321 людина (у 2010 році при загальній кількості 65156 переїздів сталося 608 інцидентів, у яких загинуло 376 і важко травмовано 378 осіб).

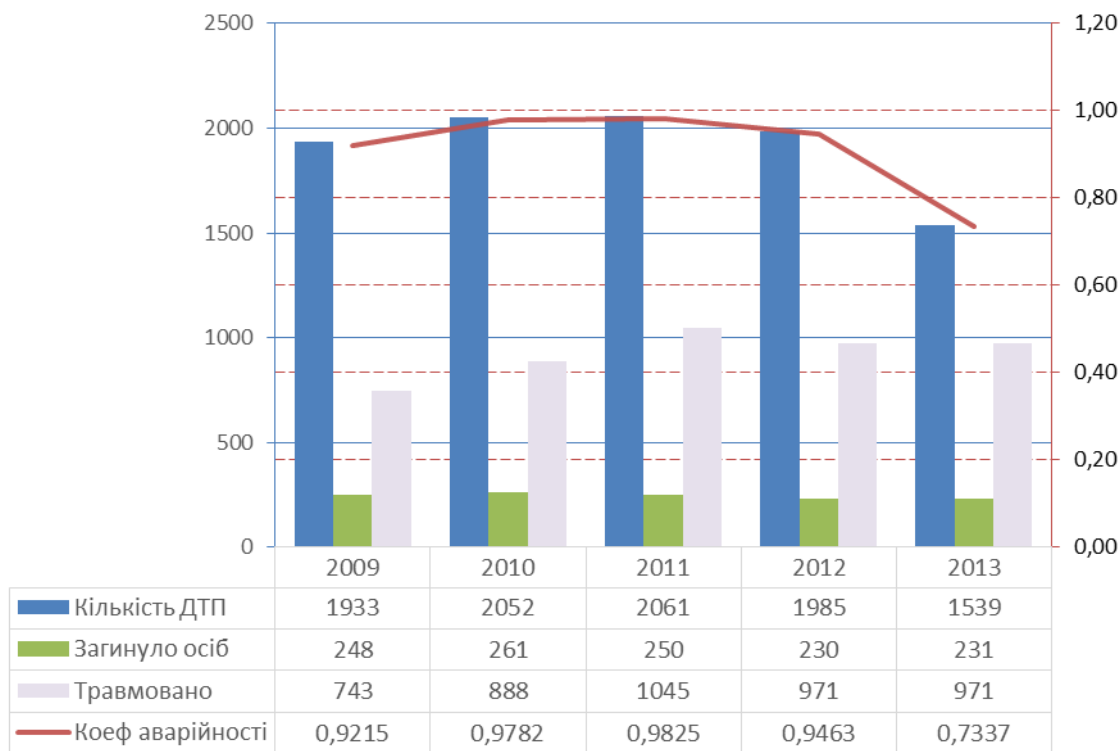


Рисунок 1.3 – Стан аварійності на залізничних переїздах США

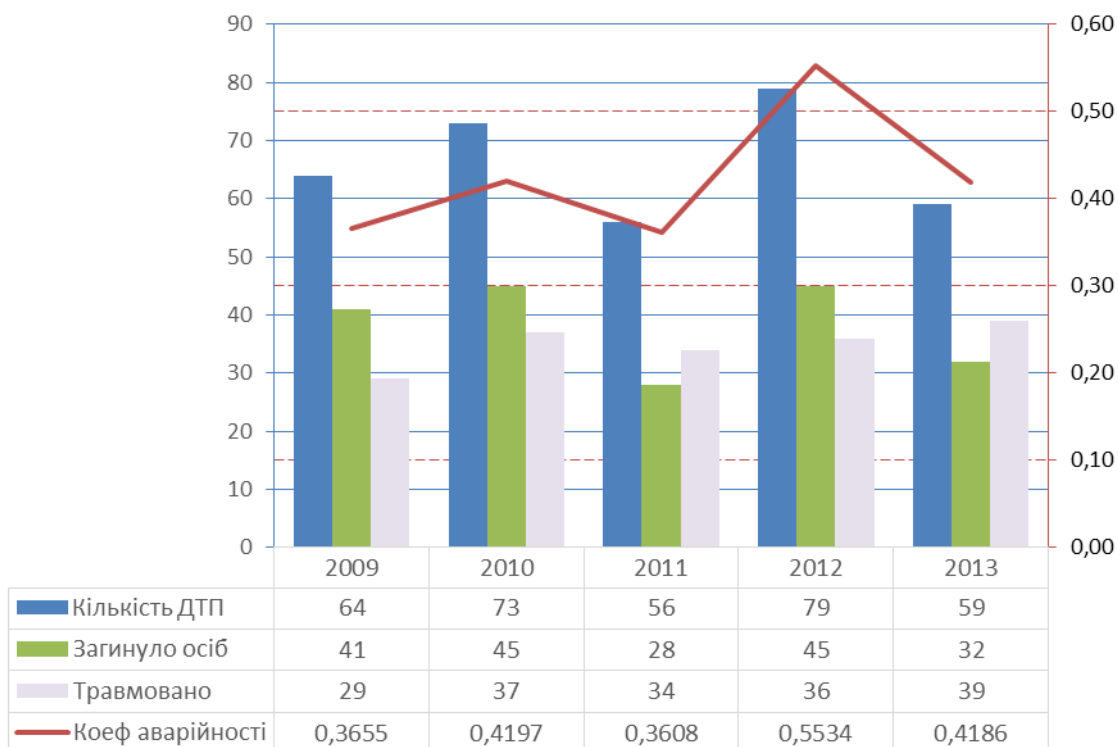


Рисунок 1.4 – Стан аварійності на залізничних переїздах Німеччини

На рис. 1.7 наведено стан аварійності на залізничних переїздах Федерального залізничного транспорту Російської Федерації (за даними Управління колії та споруд Центральної дирекції інфраструктури філіалу ВАТ «РЖД» та згідно доповіді на Першій сесії групи експертів UNECE [9; 36]). У 2013 році на магістральному транспорті Російської федерації нараховувалось 11031 залізничний переїзд, де сталося 273 ДТП, у яких загинуло 64 і травмовано 145 людей (у 2010 році показники наступні: на 11248 залізничних переїздів 260 ДТП, де загинуло 72, травмовано 158 осіб).

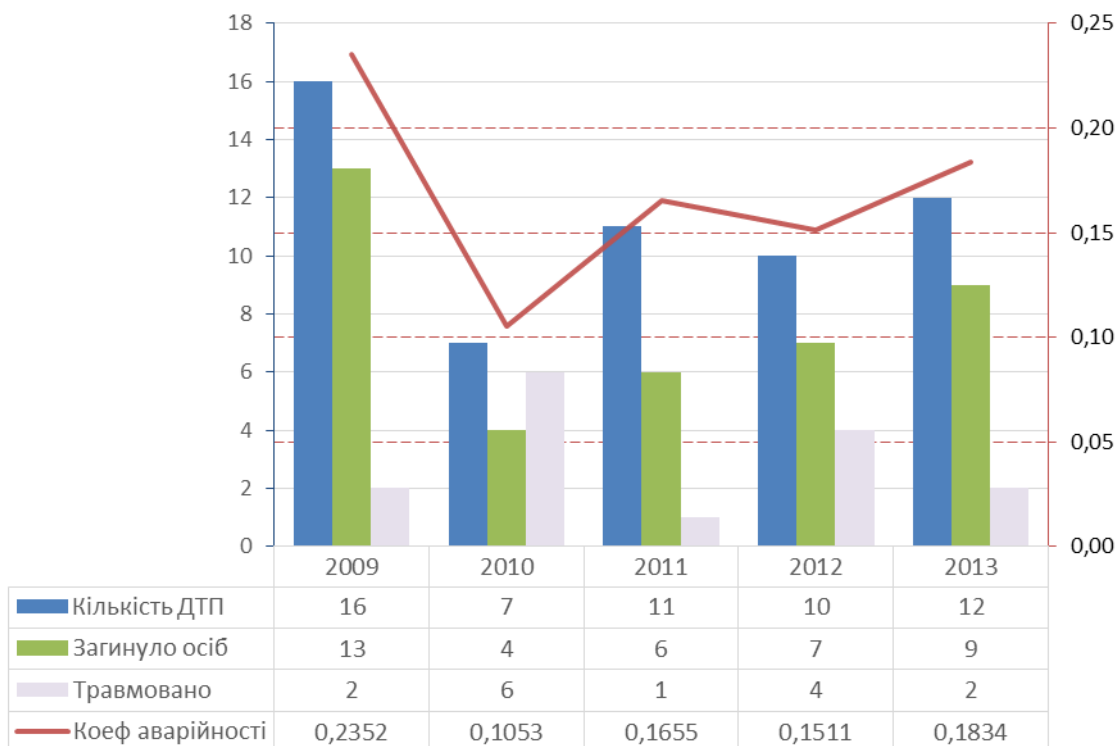


Рисунок 1.5 – Стан аварійності на залізничних переїздах Великобританії

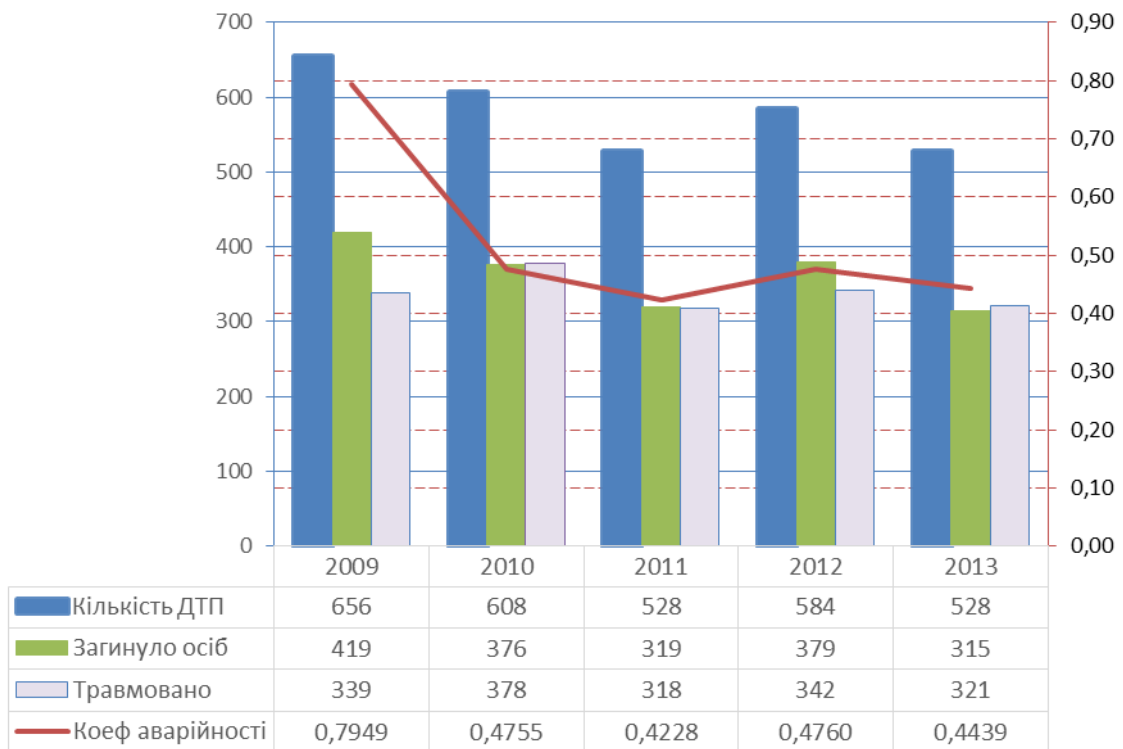


Рисунок 1.6 – Стан аварійності на переїздах Європейських країн EU-28 (ERA)



Рисунок 1.7 – Стан аварійності на залізничних переїздах Російської Федерації

І, для порівняння, виходячи із інформації, наведеної вище, на рис. 1.8 наведено стан аварійності на залізницях України.

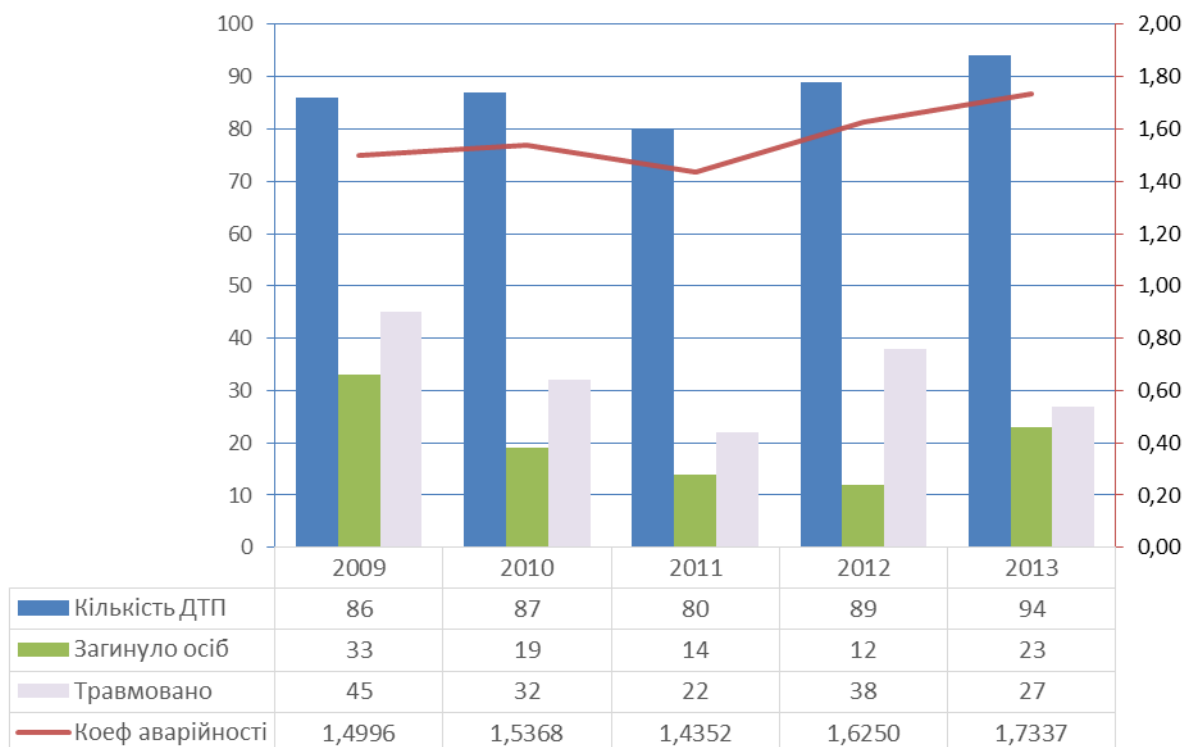


Рисунок 1.8 – Стан аварійності на залізничних переїздах України

Для зручності порівняння інформація, яка наведена рис. 1.3 – 1.8 узагальнена, виведені середні значення та наведена в таблиці 1.14 та рис. 1.9.

Таблиця 1.14

Стан аварійності на залізничних переїздах

Країна	Кі-сть переїздів (сер. зн.)*	Кі-сть ДТП (сер.зн.)	Аварій на 100 переїздів	Загинуло, осіб (сер. зн.)	Травмовано, осіб (сер. зн.)
США	209771,0	1914,0	0,9124	244,0	923,6
Німеччина	15758,4	66,2	0,4201	38,2	35,0
Великобританія	6651,0	11,2	0,1684	7,8	3,0
EU-28	115384,2	580,8	0,5034	361,6	339,6
Росія	11156,6	243,8	2,1853	58,0	135,4
Україна	5565,0	84,0	1,5371	23,8	33,2

*У таблиці середні значення подані за 2009-2013рр.

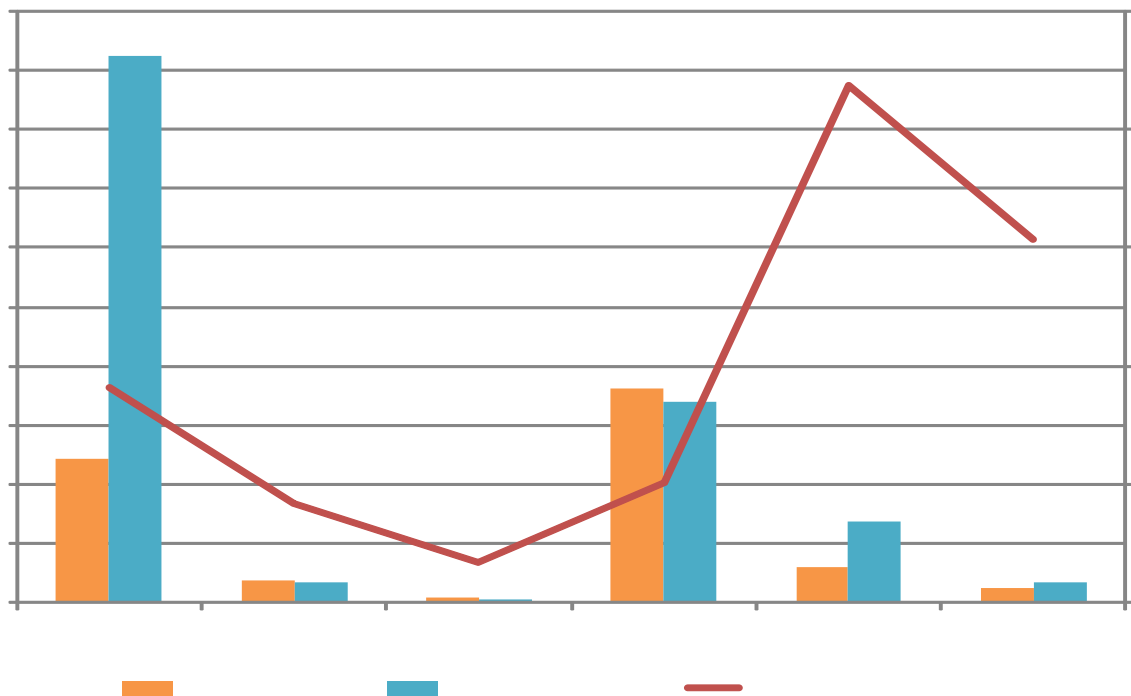


Рисунок 1.9 – Стан аварійності на залізничних переїздах
(середнє значення за 2009 – 2013рр.)

Таким чином, проблема підвищення безпеки на залізничних переїздах значно ширша, ніж тільки забезпечення безпеки руху, тому її потрібно розглядати як комплексну проблему забезпечення ефективності взаємного функціонування як залізничного так і автомобільного транспорту у масштабах всієї країни [19]. Тому задача із розробки та вдосконалення методів та засобів контролю за рухомими одиницями (як залізничними так і автодорожніми) у межах залізничних переїздів на даний час є надзвичайно необхідною та актуальною [18; 37].

1.3. Аналіз існуючих методів забезпечення безпеки на залізничних переїздах.

Аналіз публікацій свідчить про те, що для підвищення безпеки руху на залізничних переїздах використовується різноманітні заходи. Для оцінки при прийнятті рішень, відмінних рис, новизни, області застосування та ефективності використання кожного із заходів, а також розробки шляхів щодо підвищення рівня безпеки на залізничних переїздах скористаємося класифікацією заходів щодо зниження аварійності, запропонованої О.І. Годяєвим [38]. За нею усі заходи і методи забезпечення безпеки руху на переїздах класифікуються за наступними чотирма базовими напрямками, такими, як: законодавчо-правові, організаційні, технічні, аналітичні (рис. 1.10). Дана класифікація дозволяє наочно простежити основні підходи до проблеми забезпечення безпеки на залізничних переїздах, систематизувати за основними напрямками методи, заходи та засоби забезпечення безпеки на залізничних переїздах, які використовуються як у нас в країні та і за її межами. Дана класифікація також забезпечує раціональний вибір напрямків проведення робіт щодо вдосконалення заходів, методів і засобів з метою

подальшого зниження кількості ДТП на залізничних переїздах.

Законодавчо-правові заходи забезпечують створення відповідної нормативно-правової бази, яка регламентує дії і поведінку людей при проектуванні, будівництві, експлуатації та перетині залізничних переїздів. Основоположними нормативними документами є закони України Про дорожній рух, та Кодекс України про адміністративні правопорушення" тощо. Серед законодавчо-правових заходів щодо підвищення безпеки руху особливе місце займають постанови Кабінету Міністрів, накази міністерств і різних відомств, діяльність яких пов'язана з будівництвом, експлуатацією та контролем за організацією руху на залізничних переїздах.

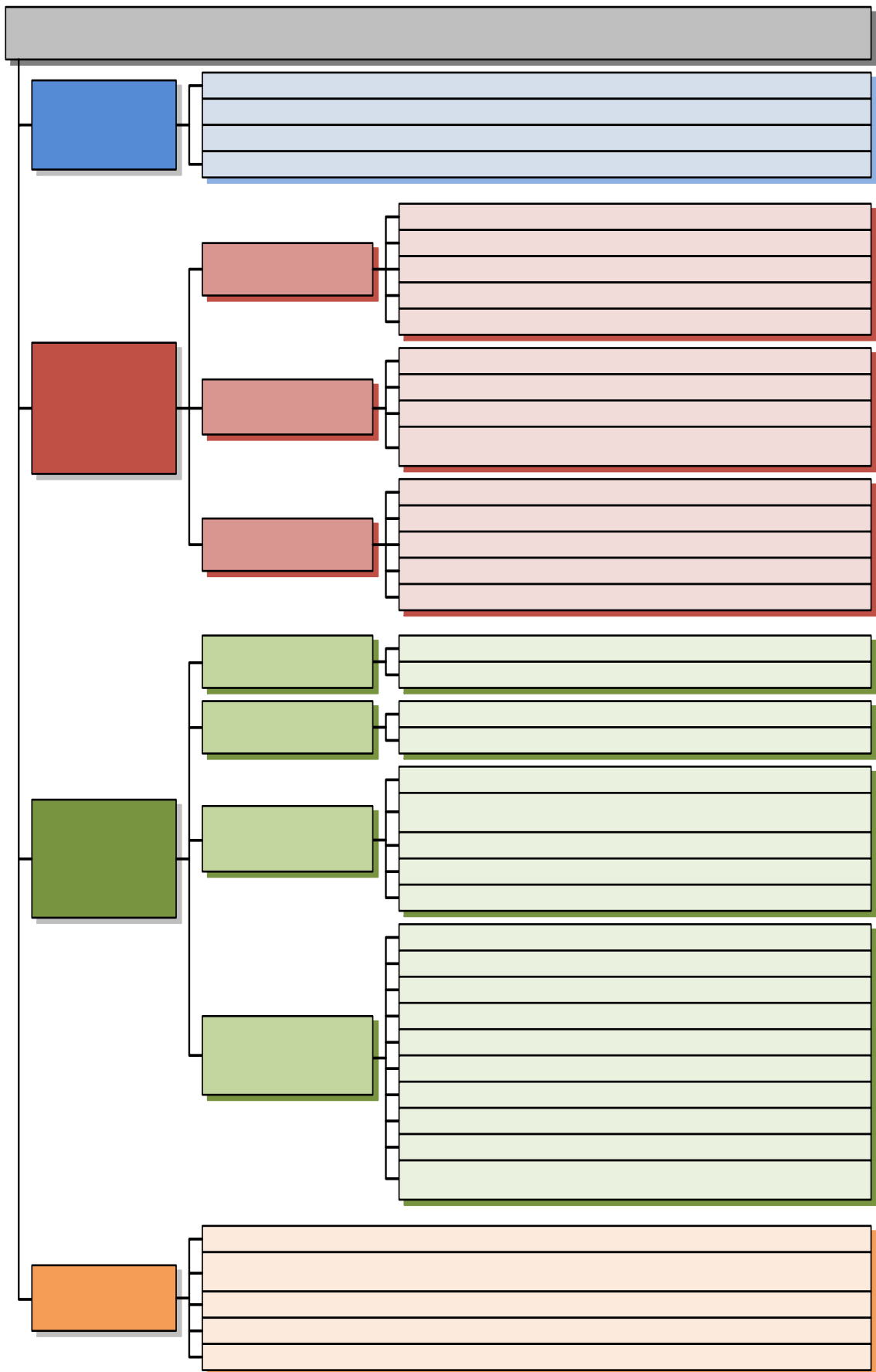


Рисунок 1.10 – Методи, заходи та засоби, спрямовані на забезпечення безпеки у межах залізничних переїздів

Важливу роль серед нормативно-правової бази відводиться таким документам, як «Правила технічної експлуатації залізниць України», «Правила дорожнього руху», а також цілої низки правил, інструкцій, стандартів та інших документів, які регламентують порядок утримання доріг, переїздів, автотранспорту та відповідальність посадових осіб і громадян за його порушення [39–41].

Проблема безпеки у значній мірі залежить від відповідальності за порушення правил безпеки, а, отже лежить також і в області законодавчо-правової бази. Безсумнівною перевагою нормативно-правових методів також є комплексний підхід до вирішення завдання забезпечення безпеки, яке базується на розробці загальних норм і правил, що регламентують проведення будь-яких робіт або порядок руху через залізничний переїзд.

Організаційно-профілактичні заходи забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах поділяють на три основні групи, а саме, заходи, які базуються на контролі, профілактиці та навчанні (див. рис. 1.10).

Серед основних напрямків організації контролю слід виділити: вдосконалення контролю за виконанням нормативно-правових документів, створення міжвідомчих координаційних комісій, контрольні перевірки стану переїздів і автотранспорту, проведення рейдів, збір і аналіз в ході службового розслідування інформації про аварії на залізничних переїздах, звіт керівників відповідних підрозділів.

До основних профілактичних заходів забезпечення безпеки на переїздах відносяться: узагальнення передового досвіду; проведення різного роду оглядів, конкурсів, змагань; організація пропаганди; виявлення, узагальнення та поширення кращих методів експлуатації та обслуговування переїздів; удосконалення взаємодії із засобами масової інформації.

Усі форми і методи навчання, які використовуються для вирішення завдання забезпечення безпеки на переїздах, також відносяться до організаційно-профілактичних заходів. Основними з них є: курси підвищення кваліфікації і обмін досвідом чергових по переїзду; вивчення працівниками, що займаються експлуатацією переїздів, рекомендацій з перевірки переїздів; інструктаж локомотивних бригад про особливості експлуатації переїздів на дільниці, яку вони обслуговують; інструктаж водіїв автотранспортних підприємств про правила забезпечення безпеки на переїздах; проведення лекцій, бесід та іншого роду занять в різних навчальних закладах.

Для підвищення безпеки на переїздах поряд із законодавчо-правовими та організаційно-профілактичними заходами широко використовуються різноманітні *технічні заходи, методи та рішення*. [18; 41; 42] Хоча, будівництво шляхопроводу і є одним із самих надійних способів забезпечення безпеки на перетинах залізниці з автомобільною дорогою, все-ж не може повністю гарантувати відсутність ДТП.

Закриття малодіяльних переїздів і переведення транспортних потоків на найближчі до них переїзди або шляхопроводи також не завжди виправдане та можливе. Наприклад, при значній віддаленості переїзду, який закривається, від інших розв'язок суттєво зростає перепробіг автотранспорту, що спричиняє збільшення часу та подорожчання вартості перевезень. В окремих випадках ліквідація переїзду може спровокувати порушення деякими водіями правил дорожнього руху та перетинання залізничних колій у не встановленому для цього

місці, що негативно позначиться на безпеці руху.

Одним із засобів вирішення проблеми є встановлення систем автоматичного блокування доступу автотранспорту на колії. Для забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах залізничниками встановлюються додаткові шлагбауми, вживаються заходи з покращення освітлення, а також триває експериментальне випробування ефективності переїздів з відео-наглядом. Порушення, які фіксуються відеоспостереженням, передаються на опрацювання до поліції.

Серед значної кількості технічних рішень щодо пристроїв, які запобігають в'їзду автодорожнього транспортного засобу на закритий переїзд на даний час найбільшого поширення досягли загороджувальні бар'єрні установки (ЗБУ) типу жорсткої механічної перепони. Практика показує, що вони володіють деякими недоліками – зокрема те, що їх застосування можливе тільки на переїздах, де є черговий, який у стані забезпечити надійне функціонування механізмів підймання та опускання металевих плит [43; 44].

До інших важливих технічних заходів забезпечення безпеки відносяться капітальний ремонт переїздів і заміна використовуваних на них технічних засобів. Поряд з капітальним ремонтом, на переїздах також проводяться протиаварійні роботи у господарстві колії.

На залізницях проводяться заходи щодо посилення технічної оснащеності переїздів. До технічних пристроїв, які встановлюються на переїзді, насамперед, слід віднести всі пристрої переїздної автоматики, які призначені забезпечити розв'язання наступного класу завдань:

- подачу на переїзд повідомлення про наближення поїзда та контроль вільного стану переїзду від рухомого складу;
- завчасне сповіщення водіїв про наявність переїзду та небезпеки його заняття транспортним засобом;
- запобігання несанкціонованому виїзду транспортних засобів на переїзд у небезпечній близькості від рухомого складу;
- огороження переїзду з боку залізниці;
- виявлення на переїзді завад для руху поїзда;
- контроль справного стану пристроїв переїздної автоматики.

На даний час на магістральному залізничному транспорті України, в основному, використовуються системи з фіксованою довжиною ділянки наближення, що обумовлено простотою та порівняно низькою вартістю апаратної їх реалізації та алгоритму управління, який використовується в цих системах. Істотним недоліком даного способу сповіщення є відсутність контролю фактичної швидкості та прискорення поїзда, який наближається. Це спричиняє зайву тривалість закриття переїзду, коли швидкість поїзда на ділянці наближення нижча максимальної, чи при її зміні у межах даної ділянки напрямку руху поїзда. Зазначений недолік спричиняє триваліші простої автотранспорту перед закритим переїздом, що, у свою чергу, викликає відповідні матеріальні збитки та негативно позначається на безпеці руху, адже надмірно тривалий час закриття переїзду провокує деяких водіїв на порушення правил руху через переїзд.

Дія систем з постійним часом сповіщення базується на реалізації складнішого алгоритму управління, який передбачає постійне вимірювання швидкості поїзда та

відстані до переїзду. Сповіщення на переїзд подається таким чином, щоб забезпечити оптимальний, фіксований час закриття переїзду. Дані системи суттєво зменшують час перебування переїзду в закритому стані і ймовірність несанкціонованого виїзду на переїзд транспортного засобу в небезпечній близькості від поїзда, який наближається.

1.3.1. Визначення довжини ділянки наближення та часу сповіщення існуючих систем автоматичної переїзної сигналізації (АПС)

На рис. 1.11 наведено схему переїзду з автоматичною переїзною сигналізацією із автоматичними шлагбаумами та розміщеними знаками.

Довжина ділянки наближення залежить від часу сповіщення та швидкості руху поїзда перегоном і визначається за формулою [45; 46]:

$$L_{\text{набл}} = v_{\text{п}} \cdot t_{\text{спов}} + L_{\text{п}} \quad (1.6)$$

де: $v_{\text{п}}$ – максимальна швидкість руху поїздів на даній ділянці; $t_{\text{спов}}$ – коефіцієнт переведення швидкості з км/год. у м/с; $L_{\text{п}}$ – час сповіщення про наближення поїзда до переїзду, яке визначається за формулою:

$$t_{\text{спов}} = t_{\text{п}} + t_{\text{з}} \quad (1.7)$$

де: $t_{\text{п}}$ – час, який потрібен автотранспорту для перетинання переїзду, який визначається за формулою:

$$t_{\text{п}} = \frac{L_{\text{п}}}{v_{\text{п}}} \quad (1.8)$$

де: $L_{\text{п}}$ – довжина переїзду; $v_{\text{п}}$ – розрахункова швидкість поїзда (24 м.); $t_{\text{з}}$ – відстань від місця зупинки автомобіля до переїзного світлофора (5 м.); $t_{\text{спов}}$ – швидкість автотранспорту на переїзді (8 км/год. = 2,22 м/с. [46; 47]); $t_{\text{п}}$ – час, за який спрацьовують прилади кіл сповіщення та управління переїзною сигналізацією (4 с.); $t_{\text{з}}$ – гарантійний час (у розрахунках для переїздів без шлагбаумів та переїздів із двома шлагбаумами приймається рівним 10 с., для переїздів із основними та додатковими шлагбаумами, які повністю перекривають проїжджу частину автодороги – 20 с., для переїздів із ЗБУ – 25 с.).

де: $L_{\text{п}}$ – довжина переїзду; $v_{\text{п}}$ – розрахункова довжина автомобіля (24 м.); $t_{\text{з}}$ – відстань від місця зупинки автомобіля до переїзного світлофора (5 м.); $t_{\text{спов}}$ – швидкість автотранспорту на переїзді (8 км/год. = 2,22 м/с. [46; 47]); $t_{\text{п}}$ – час, за який спрацьовують прилади кіл сповіщення та управління переїзною сигналізацією (4 с.); $t_{\text{з}}$ – гарантійний час (у розрахунках для переїздів без шлагбаумів та переїздів із двома шлагбаумами приймається рівним 10 с., для переїздів із основними та додатковими шлагбаумами, які повністю перекривають проїжджу частину автодороги – 20 с., для переїздів із ЗБУ – 25 с.).

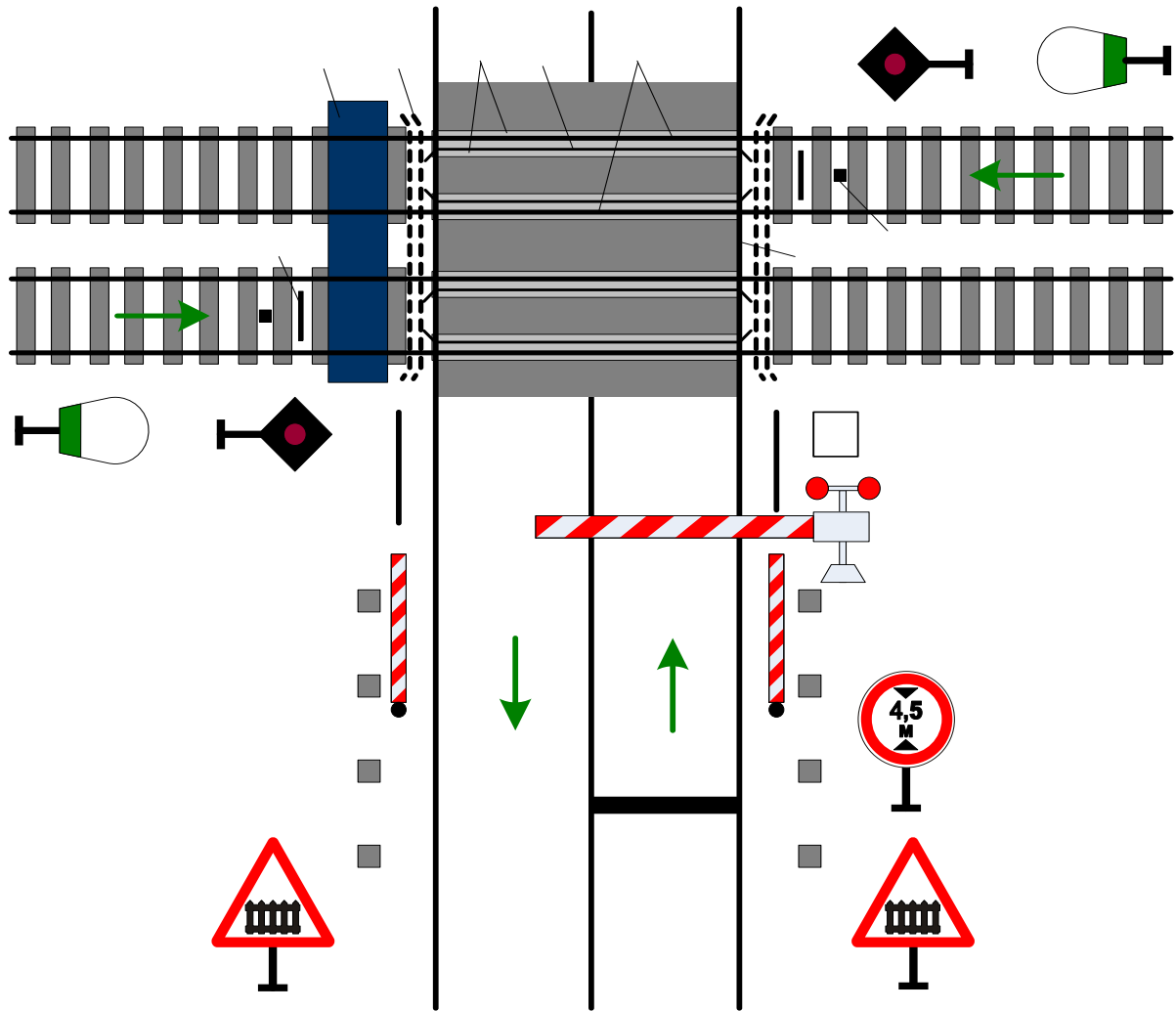


Рисунок 1.11 – Схема облаштування переїзду світлофорною сигналізацією та автоматичним шлагбаумом

На рис. 1.11: 1 – край проїзної частини автомобільної дороги; 2 – автоматичний або електричний шлагбаум; 3 – запасні горизонтально-поворотні шлагбауми; 4 – огорожувальні стовпчики; 5 – перила (огорожа); 6 – улаштування для виявлення нижньої негабаритності в поїздах; 7 – пішохідна доріжка; 8 – водовідвідні лотки; 9 – дерев'яні бруси; 10 – контррейки; 11 – колійні рейки; 12 – загороджувальний світлофор; 13 – сигнальний знак «С»; 14 – залізобетоні або інші плити; 15 – трубка або стійка для встановлення червоного щита та сигнального ліхтаря; 16 – будівля переїзного поста; 17 – світлофор переїзної сигналізації; 18 – дорожній знак 3.18 «Рух транспортних засобів, висота яких перевищує ... м, заборонено»; 19 – дорожній знак 1.27 «Залізничний переїзд із шлагбаумом».

При світлофорній сигналізації за довжину переїзду приймають відстань від найвіддаленішого від крайньої рейки переїзного світлофора (чи шлагбауму при обладнанні переїзду шлагбаумами) до протилежної крайньої рейки плюс 2,5 м.

Довжина переїзду залежить від кількості колій, які перетинатимуться автотранспортом, а також від відстаней між переїзними світлофорами чи шлагбаумами та крайніми рейками залізничних колій та ширини міжколій.

У реальних системах залізничної автоматики, залежно від розміщення залізничного переїзду на перегоні відносно світлофорів автоблокування, у ділянку наближення входять рейкові кола однієї або двох блок-ділянок [12; 45]. Якщо відстань від переїзду до найближчого (у сторону поїзда, який наближається) світлофора автоблокування не менша за розрахункову довжину ділянки наближення

, то до складу останньої входить тільки одне рейкове коло. Коли віддаль від переїзду до найближчого світлофора автоблокування менша за розрахункову довжину ділянки наближення, то до її складу входять два рейкових кола (дві блок-ділянки назустріч поїзду). У цьому випадку, для забезпечення розрахункового часу закриття переїзду забезпечується затримка у часі спрацювання пристроїв огороження переїзду [12; 45].

Величина ділянки наближення до переїзду залежить від довжини переїзду та максимальної швидкості руху поїзда ділянкою і може досягати 2500 метрів. При фактичних швидкостях руху поїзда ділянкою наближення, які менші за максимальні (розрахункові) час очікування автотранспортних засобів перед закритим залізничним переїздом значно збільшується [39; 48]. На рис. 1.12 наведено графіки залежності часу очікування автотранспорту перед закритим переїздом при різних довжинах ділянки наближення від фактичної швидкості руху поїздів ділянкою наближення за різних максимально допустимих швидкостей на ділянці .

З графіків випливає, що при русі поїзда ділянкою наближення із фактичною швидкістю (при) час очікування становить 4,3 хв., а на ділянці наближення, якою дозволена максимальна швидкість руху 140 км/год., час очікування сягає 10 хв.

Якщо врахувати, що деякі автомобілі, характеристики яких враховуються при обчисленні ділянки наближення до залізничного переїзду не мають можливості розвинути швидкість 8 км/год. (ця швидкість руху автотранспорту приймається при обчисленні ділянки наближення), то довжини ділянок наближення повинні бути збільшені (при швидкості автомобіля через переїзд 5 км/год., довжина ділянки наближення повинна бути збільшена у 1,36 рази). Однак, такий підхід збільшуватиме час очікування автомобілів перед залізничним переїздом. Тому інший шлях у вирішенні цієї проблеми полягає у застосуванні додаткових табло, які інформуватимуть водіїв автотранспортних засобів, які переїзду не мають можливості розвинути швидкість 8 км/год., а також довгоскладових і тихохідних про час, який залишився до увімкнення переїздної сигналізації. Дані твердження розглянуті та обґрунтовані у роботах [10; 20; 49; 50].

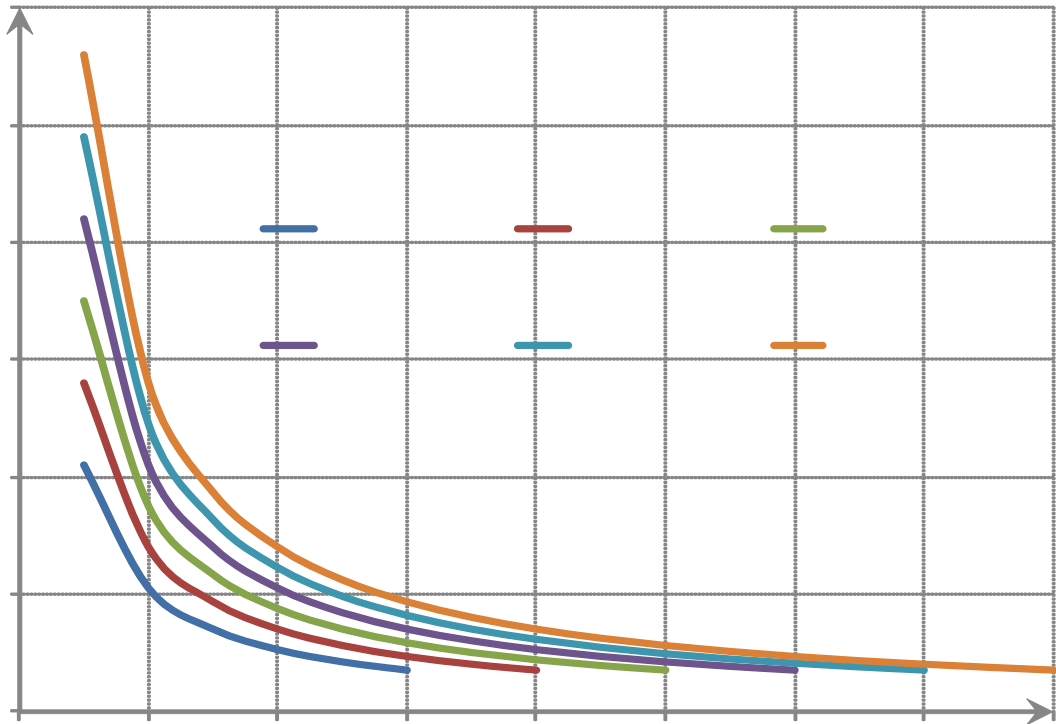


Рисунок 1.12 – Залежність часу очікування автотранспорту від фактичної швидкості руху поїздів ділянкою наближення

Оскільки на залізницях діапазон швидкостей руху поїздів значний (особливо, на сучасному етапі при впровадженні швидкісного руху пасажирських поїздів) і кількість поїздів, які рухаються із малою швидкістю становить значну частину, то додаткові простой автотранспорту перед закритими переїздами великі. Необхідно також враховувати те, що надлишково тривалий закритий стан переїзду до вступу на нього поїзда спричиняє різке зниження безпеки руху, оскільки у водіїв автотранспорту виникають сумніви щодо справного стану пристроїв огороження.

Із наведеного аналізу безпеки на залізничних переїздах впливає те, що задача підвищення безпеки та ефективності функціонування систем залізничної автоматики на залізничних переїздах була є і залишається актуальною.

1.3.2. Існуючі вдосконалені методи і засоби функціонування систем контролю наближення поїздів

Реалізація організаційно-технічних заходів дає змогу скоротити кількість дорожньо-транспортних пригод на переїздах, але все-таки не вирішує у повній мірі проблему транспортних перетинів.

На залізницях Європейських країн на даний час впроваджується система радіоуправління переїзною сигналізацією [51–53]. Система складається з стаціонарного та базового обладнань, яке містить атлас колії та пристрій визначення місця знаходження поїзда (рис. 1.13).

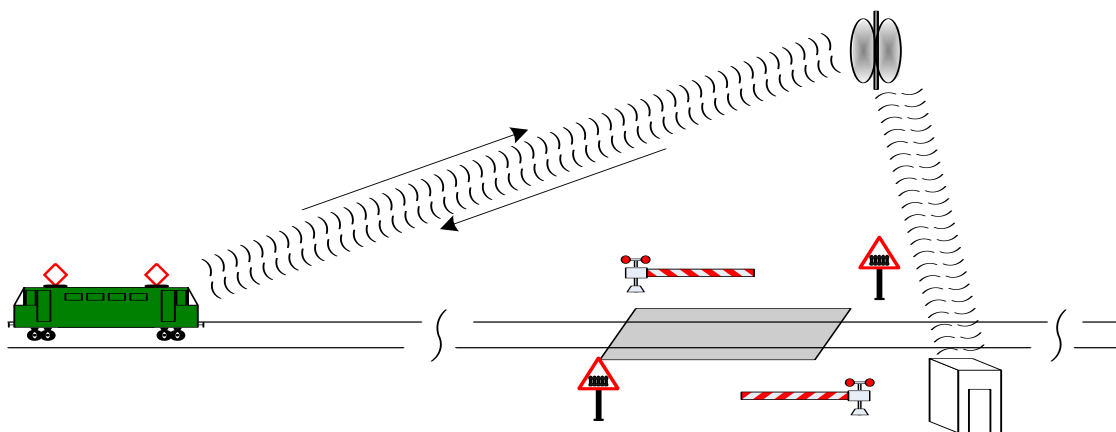


Рисунок 1.13 – Вдосконалена система радіоуправління залізничним переїздом:

- 1 – точка відміни чи початку службового гальмування; 2 – інформація про момент закриття переїзду;
3 – сигнал квітування та інформація про момент можливого закриття переїзду;
4 - закриття переїзду на оптимальний час

Пристрій дає змогу точно визначити координату поїзда та віддаль до найближчого залізничного переїзду. Момент подання радіосигналу з поїзда на приймальне обладнання, яке розміщене на залізничному переїзді визначається із урахуванням фактичної швидкості руху поїзда таким чином, щоб він мав можливість своєчасно загальмувати перед зайнятим переїздом. Урахування фактичної швидкості поїзда дає змогу скоротити час закриття переїзду. Після отримання сигналу з поїзда переїзне обладнання переводить переїзд у закритий стан. Після цього на поїзд надсилається радіосигнал, який підтверджує факт закриття переїзду. Якщо сигнал підтвердження не отриманий поїздом до моменту, коли відстань від поїзда до переїзду не стає рівною гальмівному шляху, то вмикається службове гальмування.

Фактичне положення поїзда визначається за допомогою супутникової системи глобального положення об'єктів GPS та корегується сигналом від точкового колійного датчика, який встановлений перед залізничним переїздом.

Система передбачає також корегування швидкості поїзда, що також дає змогу мінімізувати час закриття залізничного переїзду.

На мережі залізниць Російської Федерації також впроваджені нові технічні розробки щодо підвищення пропускної спроможності залізничних переїздів та безпеки руху через них. Так, на Красноярській залізниці створено автоматизовану систему управління рухом поїздів (АСУ ДП "Магістраль") із застосуванням засобів космічної навігації та зв'язку [54].

Система складається із комплексу пристроїв, які розміщені на локомотиві та в дорожньому центрі управління перевезеннями (ЕДЦУ) (рис. 1.14).

Системні засоби, які встановлені на локомотиві взаємодіють зі супутниками космічних груп (ГЛОНАСС – GPS) та пристроями поїзного радіозв'язку, які постачають до дорожнього центру управління, який пов'язаний із супутником зв'язку "Горизонт", інформацію, котра необхідна для управління рухом поїздів.

Безпосередньо на локомотиві встановлюється бортовий інформаційно-управляючий комплекс (рис. 1.15), до складу якого входять навігаційний приймач, комп'ютер, блок діагностики, радіостанція, датчики та мовний інформатор.

У цій системі, за допомогою супутника безперервно визначаються координати та час слідування поїзда маршрутом. Бортовий комп'ютер розраховує швидкість руху та пройдений шлях. Координати накладаються на цифрову карту та служать ключем до бази даних системи, де зберігається детальна інформація про ділянку та розміщені на ній технічні засоби, а також про ділянки колії, де потрібно обмежити швидкість руху. При цьому, автоматизована система контролює коректність дій машиніста і, за потреби, впливає на процес управління локомотивом.

Зазначені та інші системи висвітлені також у [53].

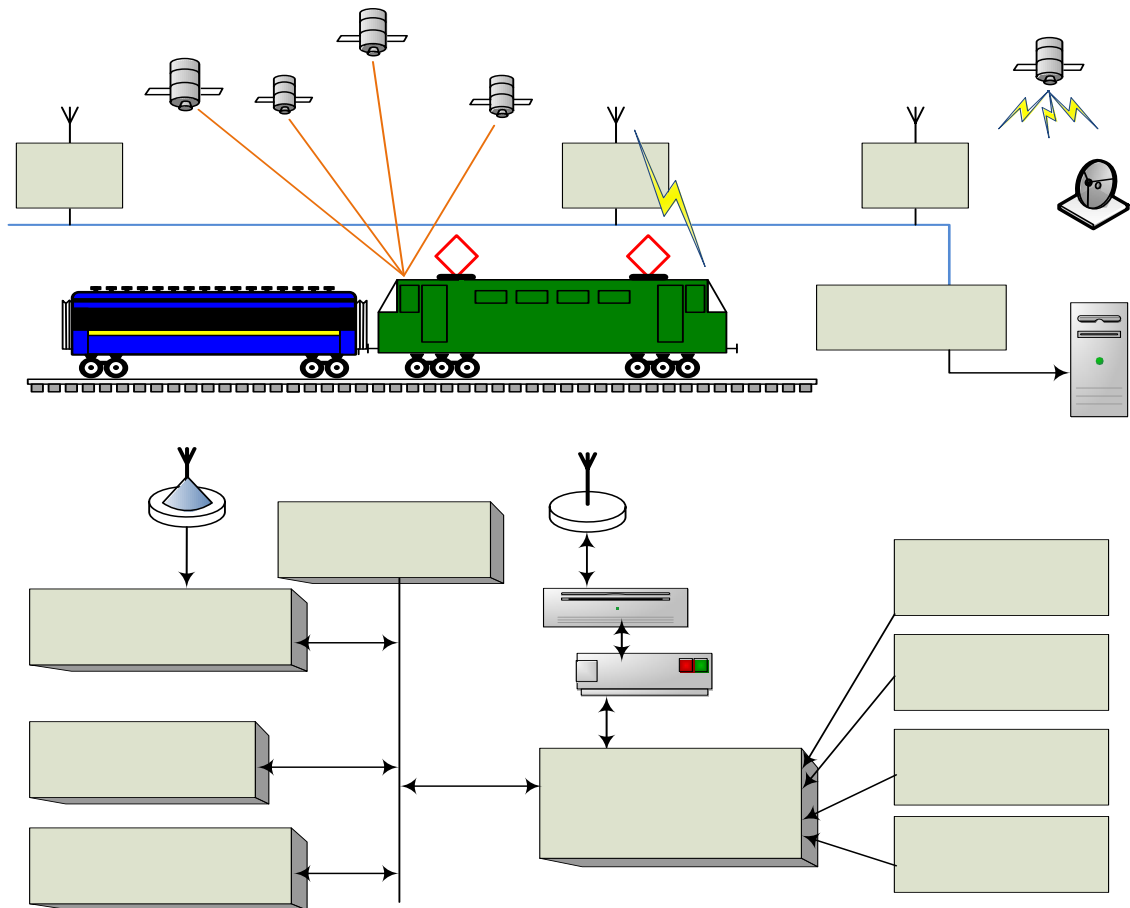


Рисунок 1.14 – Автоматизована система управління рухом поїздів "Магістраль"

На даний час розроблений та випробуваний пристрій для контролю швидкості руху поїздів на ділянці наближення до переїзду, що відомий під назвою "Вирівнювачів часу сповіщення" [55; 56]. Ці системи дають змогу ступенями регулювати час сповіщення у всьому діапазоні швидкостей поїздів. Для цього, на спеціальній ділянці з фіксованою довжиною визначається фактична швидкість поїзда і порівнюється з максимальною. Закриття переїзду затримується, завдяки відповідному сповільненню реле, яке вмикає переїзну сигналізацію.

Весь діапазон швидкостей розбивається на кілька діапазонів. Час слідування поїзда вимірювальною ділянкою фіксується за допомогою пристрою вимірювання швидкості у виді накопичувача часу. Якщо швидкість поїзда знаходиться у межах першого діапазону, то вмикання переїзної сигналізації не затримується. При швидкості поїзда у межах другого діапазону під'єднується перше коло сповільнення. Переїзд закривається із затримкою.

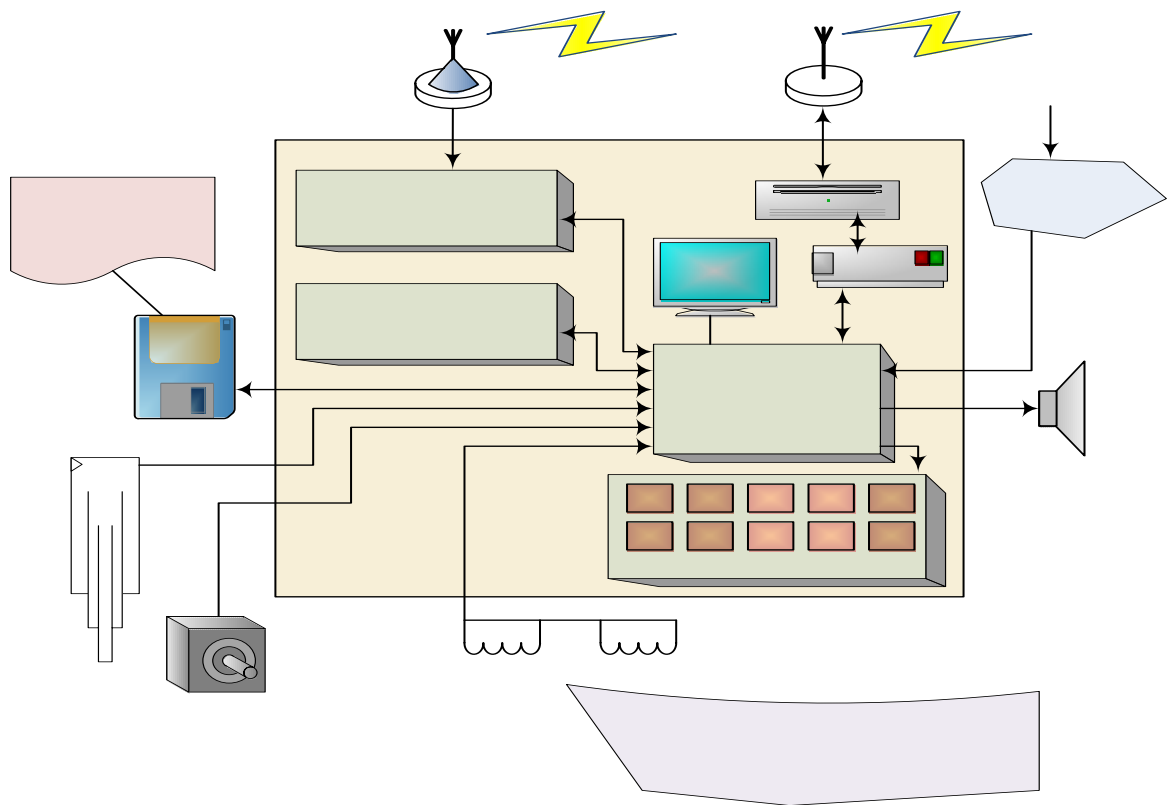


Рисунок. 1.15 – Бортовий інформаційно-управляючий навігаційний комплекс

При швидкості поїзда у межах третього діапазону під'єднується друге коло сповіщення тощо. Час сповіщення на переїзд при такій системі змінюється за ламаною кривою. У кожному діапазоні швидкостей зберігається залежність часу сповіщення від швидкості поїзда. Зі збільшенням кількості ступенів ефективність цієї системи може бути підвищена.

Інша система [57] передбачає регулювання часу сповіщення безперервно у всьому діапазоні швидкостей, причому сам діапазон може бути довільним за абсолютним значенням граничних швидкостей (160–40, 120–30 км/год. тощо). Основним елементом цієї системи є генератор струму, що змінюється за лінійним законом ГЛС. На його вхід подається незначний позитивний потенціал (рис. 1.16). На виході – струм відсутній і реле затримки **З** без струму. При вступі поїзда на вимірювальну ділянку спрацьовує колійне реле цієї ділянки **ВДП** та вмикає реле управління **У**. На вхід ГЛС надходить від'ємний потенціал тому на його виході струм розпочинає лінійно зростати (прямий відрізок залежності у межах). Параметри схеми ГЛС підбираються таким чином, щоб при максимальній швидкості поїзда струм не досягнув струму спрацювання реле **З**, тому, поки поїзд рухається вимірювальною ділянкою переїзд закривається без затримки. Якщо швидкість поїзда нижча за максимальну, то струм сягає значення і продовжує наростати до тих пір, поки поїзд вступить на ділянку наближення . У цей момент колійне реле **П**, відпускаючи якір, вмикає реле **У**, і на вхід ГЛС знову подається позитивний потенціал. Розпочинається лінійне

спадання струму . Реле **З** на час спадання цього струму до шунтує контакт реле **П** в колі живлення реле увімкнення **В**. Якщо , то швидкість наростання струму у разів більша за швидкість спаду і то переїзд буде закриватись за один час до вступі поїзда при будь-якій його швидкості у межах заданого діапазону.

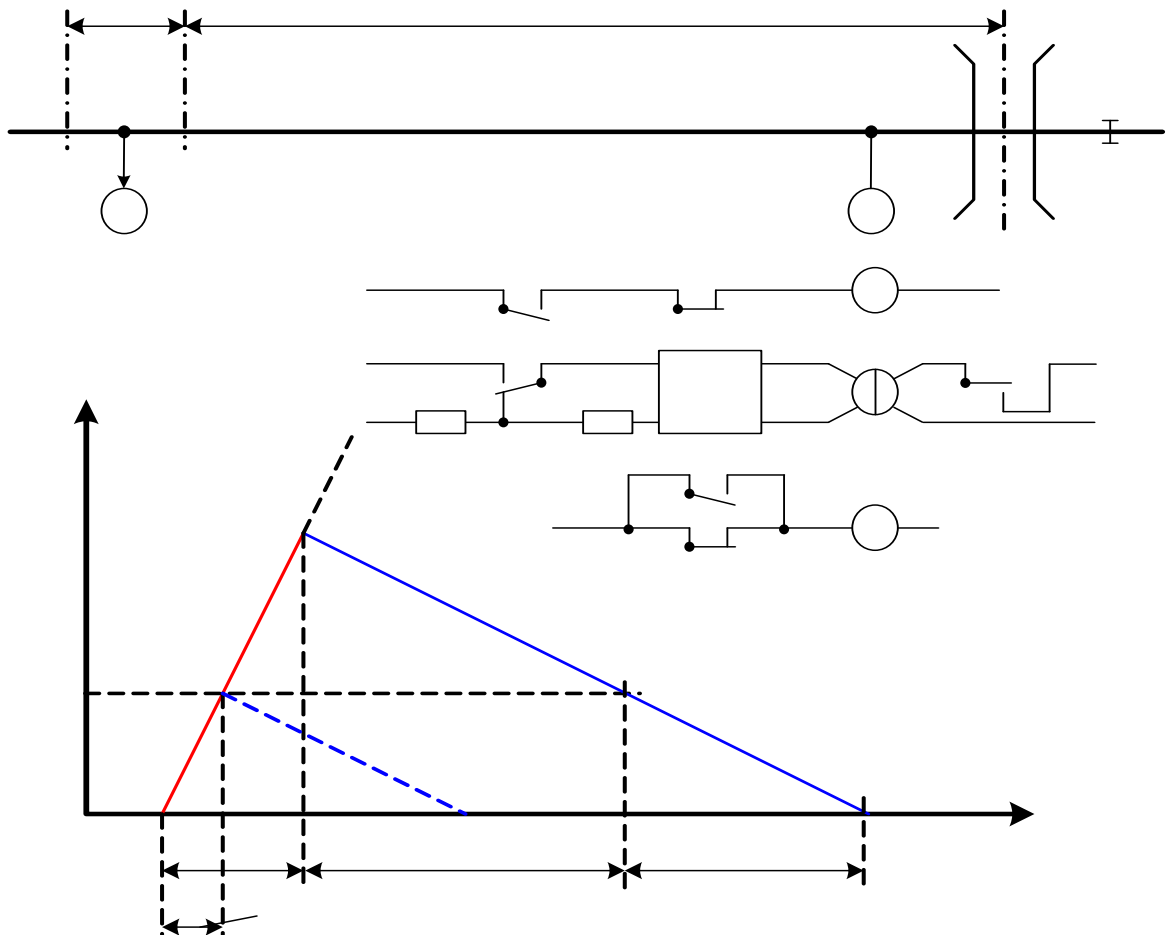


Рисунок 1.16 – Схема контролю швидкості наближення поїзда

Іще одна система управління пристроями огороження із контролем координати та швидкості руху поїздів наведена на рис. 1.17 [58]. Перед ділянкою наближення облаштовується вимірювальна ділянка , яка обмежується колійними датчиками **Д1** та **Д2**, які управляють відповідно генераторами **Г1**, **Г2**.

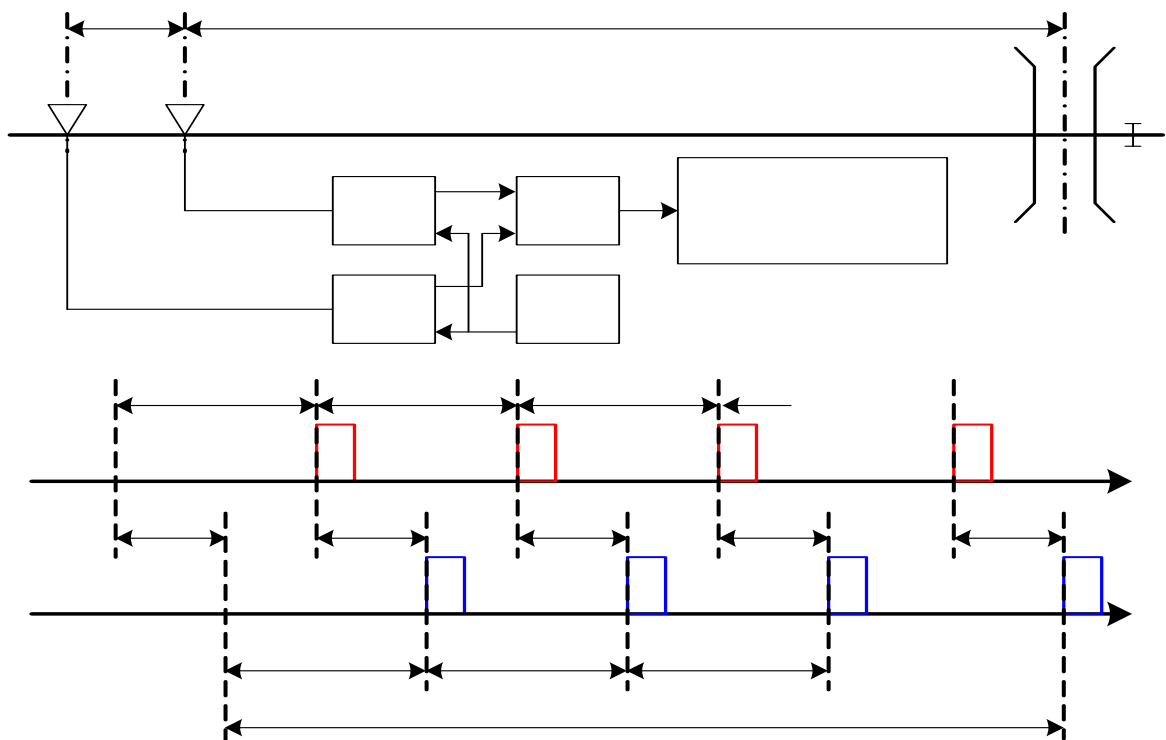


Рисунок 1.17 – Імпульсна система контролю координати та швидкості поїзда

При вступі поїзда у момент засобами Д1 вмикається генератор Г1, який починає виробляти імпульси із періодичністю , де – періодичність імпульсів синхронізації, які надходять з блоку С, а . У момент поїзд вступає проходить датчик Д2, який вмикає генератор Г2.

Генератор починає виробляти імпульси із періодичністю .

Зсув у часі між імпульсами першого і другого генераторів контролюється пристроєм порівняння К (компаратором). Коли цей зсув стає рівним заданій величині блок К подає команду на закриття переїзду.

Із діаграми на рис. 1.9 видно, що час затримки першого імпульсу генератора Г2 відносно першого імпульсу генератора Г1 рівний:

$$t_{\text{затримки}} = \frac{L}{v} \quad (1.9)$$

де – час руху поїзда вимірювальною ділянкою, а для другого імпульсу час затримки:

$$t_{\text{затримки}} = \frac{L}{v} + T \quad (1.10)$$

І так далі. Тобто для -го імпульсу час затримки становить:

$$t_{\text{затримки}} = \frac{L}{v} + (n-1)T \quad (1.11)$$

Час з моменту увімкнення генератора Г2 до -го імпульсу, коли подається команда на закриття переїзду рівний:

$$t_{\text{затримки}} = \frac{L}{v} + (n-1)T + t_{\text{ком}} \quad (1.12)$$

Час руху поїзда ділянкою наближення визначається як:

(1.13)

При _____ та _____ отримаємо _____ .
 Із урахуванням (1.12) час сповіщення визначається як:

(1.14)

Якщо прийняти _____ , то отримаємо _____ , тобто при будь-якій швидкості руху поїзда час сповіщення на переїзд залишається постійним.

Розглянуті пристрої контролю координати та швидкості володіють спільним недоліком – їх правильна робота передбачає рівномірний рух поїзда ділянкою наближення до закриття переїзду. При прискоренні поїзда на ділянці наближення можливе зменшення часу сповіщення нижче за розрахункове значення. Цього недоліку легко позбутися шляхом вибору співвідношення для ділянок наближення та вимірювання із урахуванням можливого прискорення поїзда. Однак, при цьому збільшується час сповіщення у випадку рівномірного руху поїзда. Оскільки поїздів, які на ділянці наближення рухаються рівномірно переважна кількість, то ефективність таких пристроїв знижується.

Останніми роками, з метою підвищення безпеки, переїзди обладнують захисними бар'єрними установками (ЗБУ) [43; 44; 59; 60], які додатково створюють механічні завади для виїзду автотранспортних засобів на закритий переїзд. У випадку руху поїзда ділянкою наближення із незначною швидкістю, значно збільшується час очікування водіями автотранспорту перед закритим переїздом, який обладнаний ЗБУ і частина водіїв автотранспортних засобів об'їжджають ЗБУ поза межами переїзду. Тому, з метою виявлення місць, де можливі спроби водіїв автотранспортних засобів перетнути залізничні колії поза межами переїздів, на залізниці обстежуються ділянки колії і влаштовуються завади для під'їзду автотранспортних засобів до залізниці (споруджуються бар'єри, канами, встановлюються перила, стовбці тощо), однак, незважаючи на це, поза межами залізничних переїздів, за останніх сім років траплялося, у середньому, 8 ДТП (див. табл. 1.12). Значні затрати та можливість об'їзду ЗБУ стримують їх широке впровадження, тому переїзди переважно обладнують шлагбаумами, які повністю перекривають проїжджу частину автодороги.

Додатковими мірами підвищення безпеки та впорядкування руху автотранспорту в зоні залізничного переїзду служать нові системи огороження переїздів із використанням додаткових розділювальних бар'єрів (бордюрів), які встановлюють із обох сторін залізничної колії на підходах до залізничного переїзду на осевій лінії автомобільної дороги на відстані 60 – 100 м від переїзду (рис. 1.18) [61]. Ця система також може завчасно інформувати водіїв автотранспорту про наближення до переїзду поїзда та про його напрям руху.

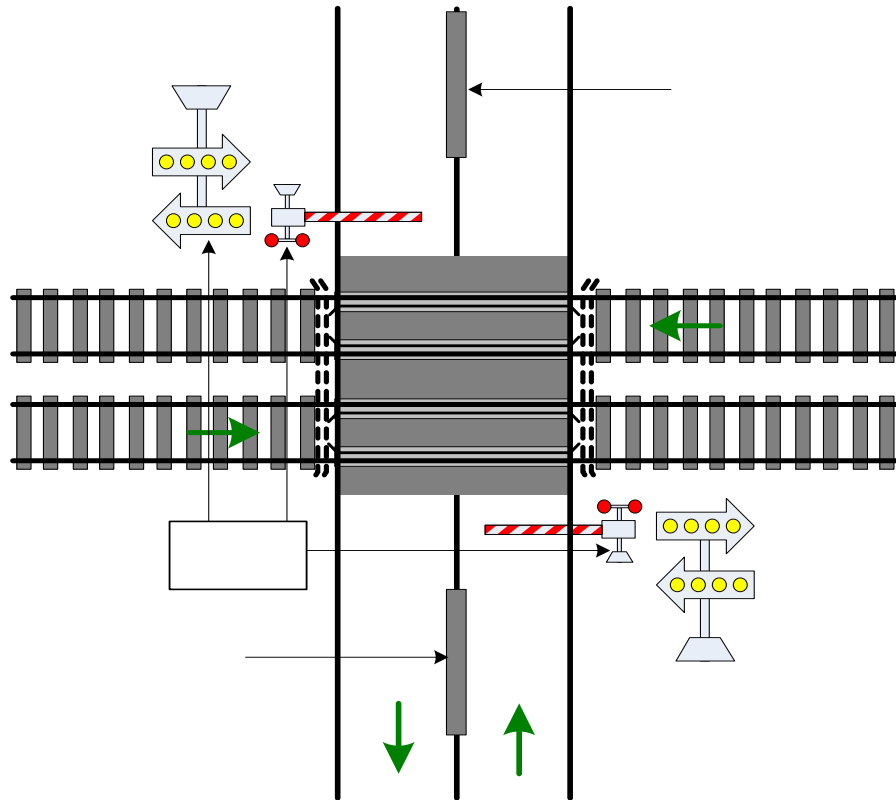


Рисунок 1.18 – Схема модернізованого переїзду

Серед робіт, виконаних у Європейському Союзі та США [62–71], які забезпечують визначення координати та швидкості рухомої залізничної одиниці переважають такі, які базуються на вимірюванні параметрів рейкової лінії та, за рахунок побудови математичної моделі вимірної ділянки лінії, визначенні режиму роботи, а потім, на основі отриманих значень – координати та швидкості. Наприклад, у роботі [62] розглядається метод діагностики, який полягає в просуванні місцевої моделі вздовж рейкового кола невеликими відрізками від передавача до приймача. Для кожного відрізка моделюється інформаційний сигнал за допомогою матриці передачі розподіленої лінії. Потім, фізичні параметри поточної комірки оптимізуються таким чином, щоб значення змодельованого сигналу було якомога ближче до виміряного значення. Далі проводиться аналіз наступного відрізка таким же чином, поки повністю вся траса не буде проаналізована. Відрізок класифікується як дефект, коли його оптимізовані параметри відрізняються від номінальних.

Цей ітераційний метод вимагає 3-ступінчастої обробки кожної ітерації:

- Проводиться визначення генератора еквівалентного елементу, які розташовані за поточною коміркою. Попередні елементи нехтуються при гіпотезі досконалого короткого замикання;
- Моделюється струм всередині відрізка за напрямом осей;
- Оптимізуються параметри шляхом мінімізації середньоквадратичної помилки між змодельованим та експериментальним сигналами.

Роботи [72–75] базуються на аналізі роботи рейкових кіл на основі мереж Петрі

Запровадження систем регулювання рухом поїздів у Європі (ERTMS Level 2 та ERTMS Level 3) не передбачають встановлення колійного обладнання вздовж колії,

а тому ускладняється контроль цілісності рейкової лінії. Тому на даний час проводяться розробки систем, які матимуть змогу контролювати цілісність лінії із рухомого складу [76–78]. Значна кількість технічних методів, заходів і засобів забезпечення безпеки на залізничних переїздах розглянута також і у роботах [18; 39; 40; 42; 79].

1.3.3. Методи контролю за рухом автодорожніх транспортних засобів через залізничний переїзд

Значне та неухильне зростання кількості транспортних засобів на мережі доріг, підвищення їх вантажопідйомності, швидкісних показників сприяє значному збільшенню інтенсивності руху та транспортного навантаження на залізничні переїзди, що спричиняє збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Це, у свою чергу, висуває нові вимоги до облаштування місць перетину автомобільних доріг та залізничних колій, їх утримання, застосування додаткових заходів щодо підвищення безпеки руху, запровадження профілактичних заходів щодо зміцнення дорожньої дисципліни водіїв.

Проблематикою є те, що при спрацюванні системи автоматичної переїзної сигналізації деякі автодорожні транспортні засоби продовжують перетинати залізничний переїзд, створюючи тим самим, загрозу безпеці руху, яка може спричинити небезпечну, а то й катастрофічну транспортну ситуацію. З цією метою необхідно контролювати процес перетину автотранспортними засобами меж залізничного переїзду у процесі руху поїзда ділянкою наближення.

Реальний стан у сфері забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах постійно вимагає нових підходів та рішень, адже статистика показує [1–8], що хоча на залізничних переїздах відбувається тільки біля 4,5% від загальної кількості ДТП на мережі автодоріг, однак їх наслідки (як людські, так і матеріальні втрати) значно важчі. Як видно із таблиці, в Україні у середньому, на залізничних переїздах, з летальним наслідком кожна четверта ДТП (на мережі автодоріг 1 загиблий на 30 ДТП).

Тому існує нагальна потреба у пристроях, які контролюватимуть процес перетину меж залізничного переїзду автодорожніми транспортними засобами під час руху поїзда ділянкою наближення.

Один із таких способів запобігання загрозі безпеки руху на переїздах залізничного транспорту за рахунок додаткового контролю переміщення транспортних засобів через залізничний переїзд та створення можливості впливу на ситуацію у його межах описаний у [80; 81].

Суть способу полягає в тому, що при вступі поїзда на ділянку наближення крім вмикання загороджувальних пристроїв та автоматичної переїзної сигналізації додатково, у межах переїзду, проводиться контроль наявності автодорожніх рухомих одиниць за допомогою датчиків, і, у разі наявності транспортних засобів, особливо таких, які не рухаються, приймаються додаткові заходи, наприклад, вмикання мовної сигналізації, а для транспортного засобу, що рухається залізничною колією – загороджувальних світлофорів. Крім цього в рейкове коло ділянки наближення здійснюється трансляція кодів, які забезпечать зниження швидкості, або навіть і зупинку залізничної рухомої одиниці.

Задачі виявлення завад на переїзді та сповіщення про це машиніста поїзда, який наближається до переїзду, також покладаються на встановлювані на переїзді спеціальні технічні засоби. Потреба у контролі залізничних переїздів обумовлена наявними випадками наїзду поїздів на автотранспорт, який з певних причин зупинився на переїзді або виїхав на переїзд при заборонному сигналі світлофора та не встиг звільнити його до вступу поїзда. Такі технічні засоби, у ряді випадків, застосовуються як для виявлення завад на переїзді так і для фіксації номерів автотранспортних засобів, які допускають виїзд на переїзд при заборонному сигналі світлофора.

Для виявлення завад у межах залізничного переїзду може застосовуватися телевізійна та радіолокаційна апаратура, а також оптичні датчики та датчики інфрачервоного випромінювання тощо. Наприклад, у системі PAI PL Level Crossing Obstacle Detector (розроблена компанією General Electric Transportation Systems Global Signaling) для виявлення завад використовуються радіолокаційні пристрої, які фіксують знаходження на переїзді об'єкта розміром від велосипеда до автопоїзда. У системі, яка експлуатується на Японських залізницях, для автоматичного виявлення усіх об'єктів, які перегороджують шлях поїзду, використовується промінь світла, який просвічує переїзд протягом 6 с від моменту повного його закриття. В інтелектуальній системі Rail Crossing Guard контроль вільного стану переїзду від автотранспорту здійснюється за допомогою кількох відеокамер. У всіх системах машиністові поїзда, який наближається до залізничного переїзду, постійно виводиться інформація про вільний або зайнятий стан переїзду, яка відображається за допомогою спеціальної індикації. У випадку неприйняття машиністом при виявленні завади заходів щодо зупинки поїзда перед переїздом, передбачається застосування екстреного гальмування. У Росії також розроблена система телевізійного контролю залізничних переїздів, яка забезпечує на відстані 2 км від переїзду передачу на локомотив зображення ситуації, яка склалася на даний час у межах переїзду. Така ж система використовується на ряді залізничних переїздів Японії, яка забезпечує відтворення на моніторі в кабіні машиніста обстановки на переїзді на відстані в 1,3 км.

Як приклад систем, які забезпечують контроль процесу перетину меж залізничного переїзду автодорожніми транспортними засобами можна зазначити систему, запропоновану Італійською компанією Mermec [82].

Дана система (рис. 1.19) виявлення завад при наближенні поїздів засобами інфрачервоних лазерних датчиків здійснює автоматичне виявлення завад на залізничних переїздах та запобігає аваріям. Виявлення здійснюється одним або кількома блоками датчиків, залежно від розміру залізничного переїзду.

Блок управління збирає інформацію із переїзду шляхом зондування і генерує сигнали залежно від розмірів мінімальної завади. Блок управління здатний інтегруватися у традиційну систему переїзної автоматики у тому числі і з автоматичними чи півавтоматичними шлагбаумами, а також може узгоджуватися із новітніми електронними системами засобами безпечних інтерфейсів.

Переваги та вигоди системи:

- простота установки та адаптації до об'єктів контрольованої області;

- кількість одиниць зондування в установці набагато нижча у порівнянні з іншими технологічними рішеннями, наприклад, системами радіолокаційного моніторингу (мікрохвильові системи);
- простота конфігурації для конкретної геометрії переїзду;
- простота конфігурації порогів сигналізації залежно від розмірів чи об'ємів об'єктів контролю;
- відсутність хибних спрацьовувань, коли потрібно визначення дрібних об'єктів та / або людей, які лежать на рейках;
- надійна робота в суворих погодних умовах, таких як дощ, сніг і туман;
- може бути доповнена системою візуальної перевірки стану території.

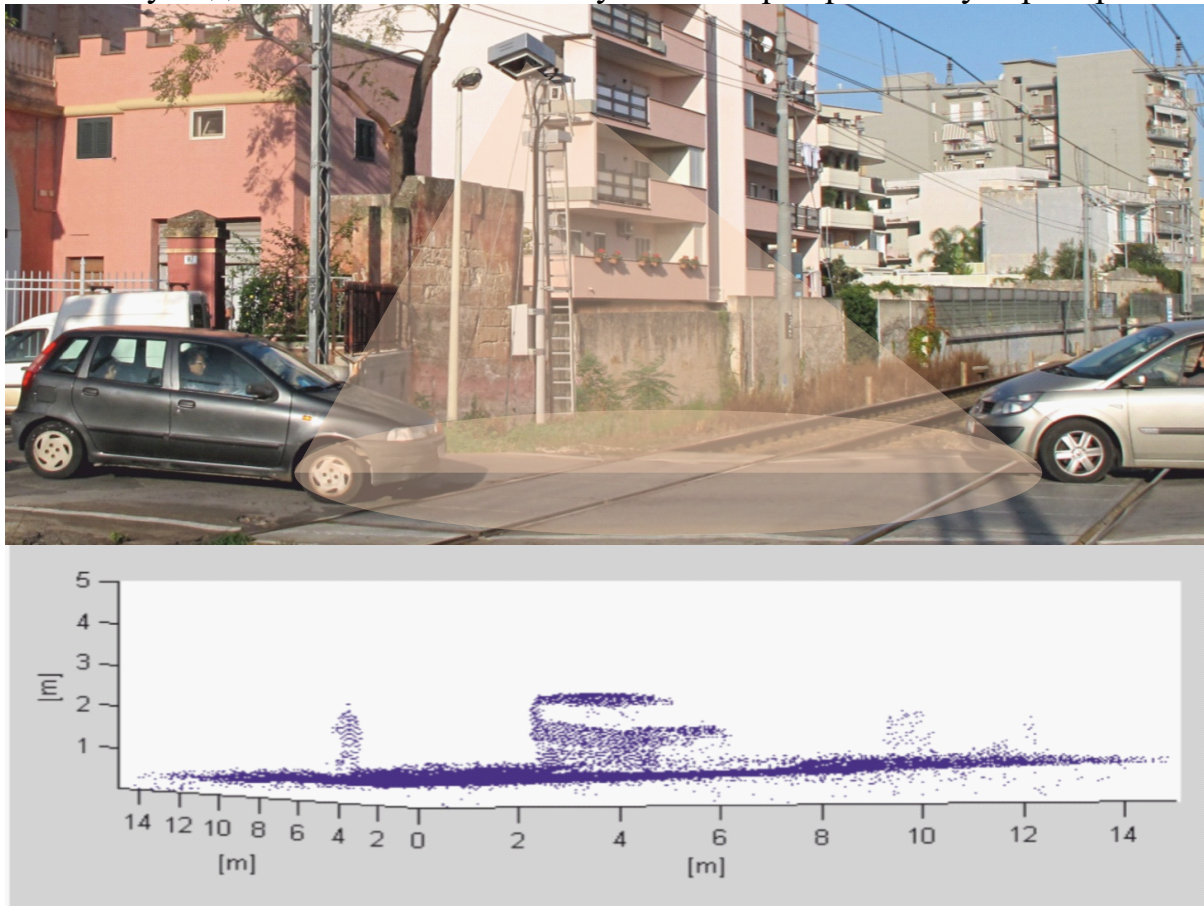


Рисунок 1.19 – Система контролю фірми Метрес

Одним із суттєвих недоліків цієї системи є те, що її вартість досить значна, а при обладнанні такою системою значної кількості залізничних переїздів матеріальні витрати будуть надзвичайно високими.

У розробленій у Нідерландах системі ADOB, на переїзді встановлюється спеціальні сканери, які самостійно управляють загороджувальними світлофорами. Пристрої виявлення завад на переїзді та фіксації номерів автотранспорту розробляються також і для магістрального залізничного транспорту України, однак дані пристрої поки не знайшли широкого використання.

З метою здешевлення системи контролю проходження автодорожнього транспорту через залізничний переїзд було здійснено аналіз датчиків, які використовуються на залізничному та автодорожньому транспортах.

Серед датчиків, які використовуються залізничному транспорті прийнятними для такої системи є тільки лазерні, індуктивні датчики, мікрохвильові радары та відео процесори зображення [83–87].

У сучасних системах управління рухом на мережі автомобільних доріг поширення отримали магнітометри, магнітні датчики, процесори відео зображення, мікрохвильові та лазерні радарні датчики, ультразвукові, акустичні та пасивні інфрачервоні датчики. Оптичний датчик також знайшов застосування для виявлення великогабаритних транспортних засобів [88].

Однак перерахованим датчикам властиві недоліки, які обмежують їх використання:

- не всі датчики мають змогу визначати автомобіль, який не рухається;
- деякі потребують спеціального програмного забезпечення для обробки сигналу;
- більшість з них чутливі до погодних умов (дощ, сніг тощо);
- потребують регулярного обслуговування (наприклад, періодичної очистки лінз).

Порівняння сильних і слабких сторін зазначених датчиків наведене у таблиці Б.1 додатку Б, а їх можливості, пропускну здатність зв'язку і вартість – у таблиці Б.2 додатку Б.

Виходячи із проведеного аналізу можна стверджувати, що найдоцільніше, у якості датчика наявності автотранспортного засобу у межах залізничного переїзду, використовувати детектор у виді індуктивної петлі, або, інакше кажучи, індуктивний датчик. Це пов'язано із основними його перевагами: гнучкий дизайн для задоволення різноманітних потреб; легко узгоджуються із будь-якими технологіями (у тому числі і новітніми); 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 (дощ, туман, сніг тощо); забезпечує кращу точність підрахунку даних у порівнянні з іншими методами; моделі із високочастотним збудженням забезпечують можливість класифікації транспортних засобів.

Розглянувши основні переваги і недоліки датчиків, які використовуються на залізничному та автомобільному транспорті, можна стверджувати, що для визначення стану залізничного переїзду у момент знаходження поїзда на ділянці наближення, найдоцільніше використовувати індуктивний датчик.

1.3.4. Принципи виявлення автотранспортних засобів за допомогою індуктивної-петлі

Основними компонентами системи детектора у виді індуктивної петлі є:

- Один або кілька витків ізольованого провідника у виді індуктивної петлі, яка виконана у невеликому гнізді у проїзній частині автомобільної дороги.
- Підвідні провідники до петлі від монтажною коробки на узбіччі та кабель від ящика до шафи із контролером управління.
- Блок електроніки (контролер управління), який розташований в шафі управління.

На рис. 1.20 наведено умовну схему системи із детектором у формі індуктивної петлі, котрий реагує на металеві елементи транспортних засобів, які рухаються над ним проїжджою частиною.

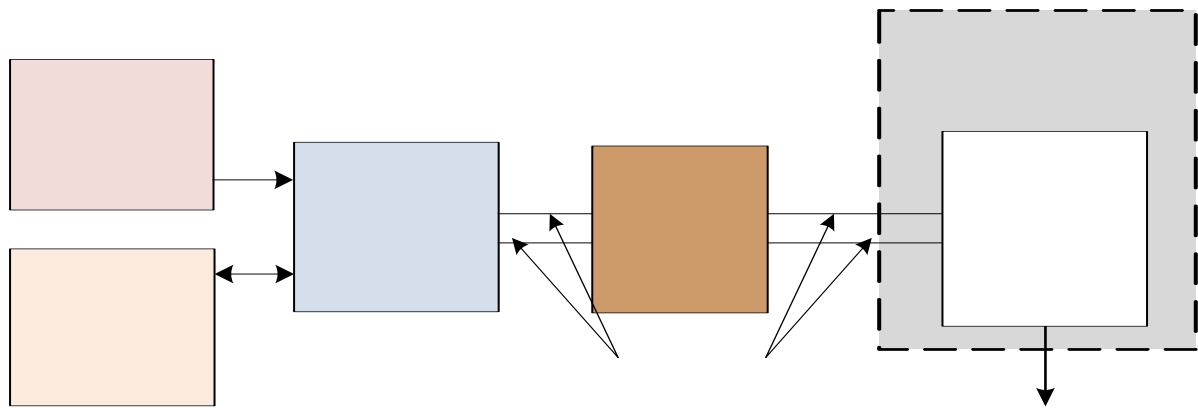


Рисунок 1.20 – Структура індуктивного детектора системи визначення (умовна)

Система індуктивної петлі поводить ся як налаштоване електричне коло, в якому провідники петлі та підвідний кабель становлять індуктивні елементи. Принципи роботи системи полягає у зміні (зменшенні) значення індуктивності детектора внаслідок дії вихрових струмів, які наводяться у шасі, днищі, кузові та інших металевих елементах автомобіля, що знаходиться у межах дії детектора. Цей принцип є загальними для всіх конструктивних систем індуктивної петлі. Сама петля і підвідні провідники містять комбінацію опору, індуктивності і ємності.

Блок електроніки сприймає зменшення індуктивності та надсилає імпульс до контролера, який фіксує проходження або наявність транспортного засобу у межах дії датчика.

1.4. Висновки до розділу

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, Вл. В. Сапожников, Ю. В. Соколов, М. М. Степанов, Є. М. Тарасов та інші.

Із проведеного аналізу випливає, що існуючі методи функціонування систем визначення координати і швидкості для автоматичної переїзної сигналізації недостатньо ефективні для підвищення безпеки та забезпечення пропускну здатності автотранспорту. Аналітичний огляд свідчить про те, що автори вирішували проблему окремо, або з точки зору контролю за рухом поїзда шляхом різних колійних датчиків, або шляхом контролю за автотранспортом. Ефективніше проблему забезпечення безпеки руху 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 руху залізничних та автодорожніх транспортних засобів у системах забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах, що поєднує одночасний контроль за рухом поїзда на ділянці наближення 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 поїзда. Пристрій контролю координати і швидкості поїзда системи управління залізничною переїзною сигналізацією із розширеними функціональними можливостями, який використовуватиме даний метод, повинен забезпечувати:

1. З метою зменшення часу очікування автодорожніх транспортних засобів перед закритим залізничним переїздом, який може коливатися в межах 1–15 хв., що негативно впливає на психофізичний стан водіїв автотранспорту і сприяє накопиченню автотранспортних засобів перед переїздами, створенню "заторів" контроль процесу переміщення транспортних засобів через залізничний переїзд як рейкових, так і автодорожніх.

2. Розширення функціональних можливостей засобів залізничної автоматики, шляхом неперервного контролю наявних автотранспортних засобів у межах залізничного переїзду, що дасть змогу завчасно попередити машиніста поїзда, який наближується до залізничного переїзду, про потребу у застосуванні спеціальних заходів щодо зниження швидкості руху чи повної зупинки.

3. Підвищення пильності водіїв автотранспорту на залізничних переїздах шляхом використання спеціальних знаків та сигнальних приладів, які сповіщатимуть їх про напрям руху поїзда та час до моменту, який залишився до спрацювання переїзної сигналізації.

4. Комплексне вирішення питання функціонування системи залізничної автоматичної переїзної сигналізації, із обов'язковим контролем координати та швидкості поїзда, при застосуванні відповідних методів і алгоритмів регулювання загороджувальними пристроями переїзду.

Отже, 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 із 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.

РОЗДІЛ 2.

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЗАТРИМКИ НА СПРАЦЮВАННЯ ПЕРЕЇЗНОЇ АВТОМАТИКИ ТА КООРДИНАТИ, ШВИДКОСТІ І ПРИСКОРЕННЯ ПОЇЗДА ПРИ НАБЛИЖЕННІ ДО ПЕРЕЇЗДУ

2.1. Визначення координати закриття переїзду та часу затримки на спрацювання переїздної автоматики

Для урахування швидкості наближення поїзда до залізничного переїзду, з метою забезпечення мінімального часу очікування автодорожніх транспортних засобів, необхідно розробити метод визначення координати закриття переїзду та часу затримки до спрацювання сигналізації.

На рис. 2.1 [26], з урахуванням швидкості наближення поїздів до залізничного переїзду, наведено відстані до переїзду та моменти часу, які їм відповідають і відображають алгоритм функціонування переїздної сигналізації із пристроєм комплексного контролю координати та швидкості руху поїзда ділянкою наближення.

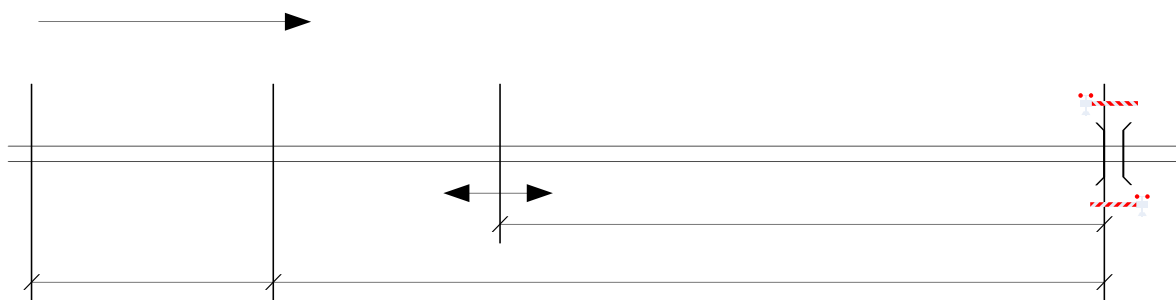


Рисунок 2.1 – Відстані та моменти часу, які їм відповідають при урахуванні швидкості наближення поїздів до залізничного переїзду

На рис. 2.1: – вимірювальна ділянка (призначена для визначення швидкості та прискорення поїзда, який рухається нею); – розрахункова довжина ділянки наближення (визначається максимальною швидкістю поїздів на дільниці); – координата закриття переїзду (визначається відстанню до переїзду за час при визначених на вимірювальній ділянці швидкості та прискоренні руху поїзда); – момент часу вступу голови поїзда у межі залізничного переїзду (с.); – час закритого стану переїзду (визначається часом спрацювання приладів кіл сповіщення та управління переїздною сигналізацією переїздної автоматики, часом звільнення меж переїзду автодорожніми транспортними засобами та гарантійним часом); – момент часу вступу голови поїзда на розрахункову ділянку наближення; – момент часу вступу голови поїзда на вимірювальну ділянку. Відповідно до [46; 47] час закритого стану залізничного переїзду становить не менше с при світлофорній та сповіщальній сигналізації, якщо у ділянку наближення входять імпульсні (кодові) рейкові кола, с – у решті випадків, або розраховується індивідуально

для кожного залізничного переїзду. При сповіщальній сигналізації с. При встановленні додаткових автоматичних (напіваавтоматичних) шлагбаумів додається гарантійний час 10 с, а при встановленні захисних бар'єрних установок – 15 с на їх закриття.

За час руху голови поїзда вимірювальною ділянкою здійснюється визначення його швидкості та прискорення. Якщо виміряна швидкість руху поїзда не менша за максимальну швидкість руху поїздів на ділянці, то координата закриття переїзду не потребує корекції і час затримки становить 0 с, а

. У іншому випадку () необхідно відкоригувати координату закриття переїзду. Для цього визначається із урахуванням виміряних швидкості та прискорення поїзда, а потім і час затримки до спрацювання переїздної сигналізації [12; 27].

Координату закриття переїзду визначимо із співвідношення:

$$.DSMT4, \quad (2.1)$$

де: – прискорення; – початкова швидкість поїзда; – час закритого стану переїзду.

Для визначення часу затримки до спрацювання переїздної сигналізації скористаємося співвідношенням (2.1), у якому відомий шлях, що становить

. Оскільки значення часу не може бути від'ємним, то:

$$. \quad (2.2)$$

2.2. Визначення швидкості та прискорення поїзда на вимірювальній ділянці

Як випливає із (2.2), для розробки комплексної системи управління переїзною сигналізацією необхідно, крім координати поїзда володіти ще й інформацією про швидкість та прискорення поїзда на ділянці наближення.

Оскільки швидкість – похідна по часу від координати рухомої матеріальної точки, то значення швидкості поїзда можна отримати, якщо визначити дві координати поїзда протягом певного інтервалу часу.

З практичної точки зору швидкість поїзда обчислимо, визначивши дві координати поїзда на вимірювальній ділянці через певний проміжок часу. Оскільки, для точнішого визначення миттєвої швидкості необхідно вибрати незначне значення інтервалу часу, то приймемо . Отже, визначивши координати та з інтервалом визначимо швидкість поїзда:

2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 3)

При русі поїзда ділянкою наближення до залізничного переїзду можливі наступні ситуації: поїзд рухається рівномірно; поїзд сповільнює рух; поїзд прискорюється.

Найнесприятливішою є ситуація, коли поїзд прискорюється, оскільки, у цьому випадку, йому необхідно менше часу для досягнення меж переїзду. Тому, при розробці системи управління цю ситуацію необхідно враховувати і розглядати рух поїзда із прискоренням. Для цього необхідно визначити прискорення поїзда.

Оскільки прискорення – векторна фізична величина, похідна швидкості по часу і за величиною дорівнює зміні швидкості рухомої точки за одиницю часу повторно визначимо швидкість, а потім – і прискорення:

Враховуючи те, що, на момент часу визначення швидкостей і прискорення, поїзд знаходитиметься на вимірювальній ділянці, тобто на значній віддалі від переїзду, потрібно врахувати й те, що поїзд може у будь-який момент прискоритися. Тому необхідно визначити максимально можливе прискорення, яке використовуватиметься при визначенні координати закриття переїзду та часу затримки на дачу сповіщення системам переїздної автоматики. Причому зазначений час затримки повинен бути таким, щоб при максимальному прискоренні поїзда із моменту закриття переїзду протягом 40 секунд (час, який необхідний для звільнення переїзду автотранспортними засобами та закриття шлагбаумів) поїзд не вступив у межі переїзду.

Необхідно також врахувати і те, на який сигнал рухається поїзд, тобто проаналізувати коди АЛС, які транслуються в рейкове коло ділянки наближення до переїзду. Оскільки, наприклад, прохідний світлофор із жовтим сигнальним показом, згідно [89], пасажирський поїзд не може прослідувати із швидкістю, яка перевищує 60 км/год., то і при обчисленні часу затримки на спрацювання переїздної сигналізації необхідно це врахувати [30].

Серед транспортних засобів, які експлуатуються на залізницях України найбільше прискорення розвиває моторвагонний рухомий склад, зокрема електропоїзди HRCS2 компанії «Hyundai Rotem» (Південна Корея); ЕКр1 «Тарпан» Крюківського вагонобудівного заводу (Україна) та EJ 675 компанії Škoda Vagonka (Чехія). Зазначені електропоїзди розвивають прискорення $0,7 \text{ м/с}^2$ у діапазоні швидкостей 0–60 км/год. Слід зазначити, що, з метою забезпечення комфортабельного стану для пасажирів, на залізницях України прийнята допустима величина непогашеного горизонтального прискорення на рівні $0,7 \text{ м/с}^2$.

Виходячи із цього можна стверджувати, що у діапазоні швидкостей 0–60 км/год. при визначенні часу затримки на спрацювання переїздної сигналізації необхідно

приймати значення прискорення

. Для визначення

максимального прискорення у діапазоні швидкостей 70–160 км/год скористаємося тяговою характеристикою електропоїзда HRCS2, яка побудована у табличному

процесорі Excel і наведена на рис. 2.2. Апроксимація цієї характеристики засобами табличного процесора Excel дає наступні результати: у діапазоні швидкостей 0–60 км/год сила тяги становить 80 кН; у діапазоні швидкостей 60–100 км/год – 80 кН із точністю 99,95%; на швидкостях більше 100 км/год – 80 кН із точністю 99,97%.

Зважаючи на те, що у складі поїзда 6 моторних вагонів і маса поїзда становить 461 т за другим законом Ньютона із формул апроксимації тягової характеристики електропоїзда визначимо максимальне прискорення електропоїзда залежно від швидкості його руху:

у діапазоні швидкостей 0–60 км/год

$$.DSMT4 \quad ; \quad (2.5)$$

у діапазоні швидкостей 60–100 км/год

$$.DSMT4 \quad ; \quad (2.6)$$

у діапазоні швидкостей понад 100 км/год

$$. \quad (2.7)$$

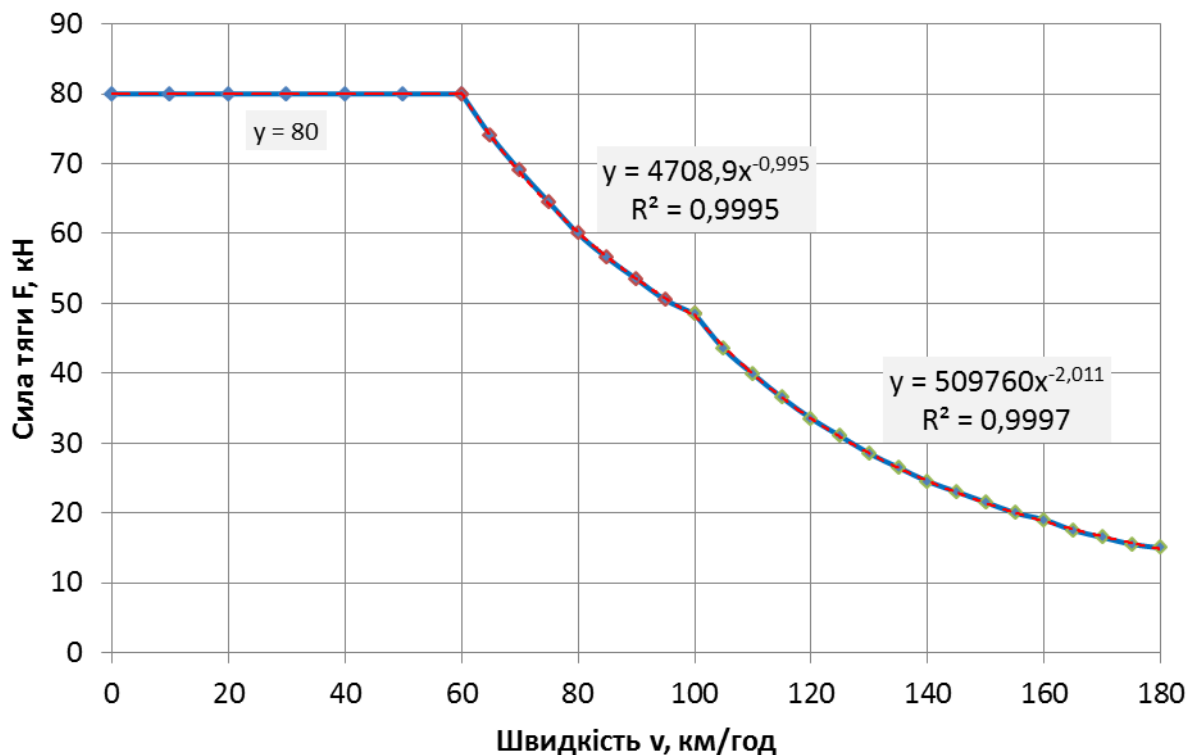


Рисунок 2.2 – Тягова характеристика моторного вагону електропоїзда HRCS2

Оскільки, як випливає із (2.5), (2.6), (2.7) прискорення залежить від швидкості поїзда у конкретний момент часу, то у цьому випадку визначатимемо час слідування поїзда ділянкою наближення за інтервалами шляхом інтегрування. З цією метою у

табличному процесорі Excel з інтервалом 1 с були визначені максимально можливі швидкості, прискорення та пройдена відстань від початку ділянки наближення у напрямі до переїзду з початковою швидкістю 20 км/год (5,56 м/с). Отримані значення швидкості та прискорення електропоїзда HRCS2 на ділянці наближення, довжиною 1500 м до залізничного переїзду наведені на графіку рис. 2.3. Також за (2.2) із урахуванням (2.5)(2.7) були обчислені часи затримки та час закритого стану залізничного переїзду обладнаного пристроєм, який працює за запропонованим алгоритмом для ділянки наближення із максимальною швидкістю 140 км/год. Результат даного обчислення наведений у виді таблиці 2.1. Для порівняння у цій ж таблиці зазначено часи очікування автодорожніх транспортних засобів при обладнанні переїздів існуючими системами автоматики. За отриманими значеннями побудовано графіки залежності часу очікування авто від швидкості руху поїзда при обладнанні переїзду існуючими та запропонованою системами (рис. 2.4).

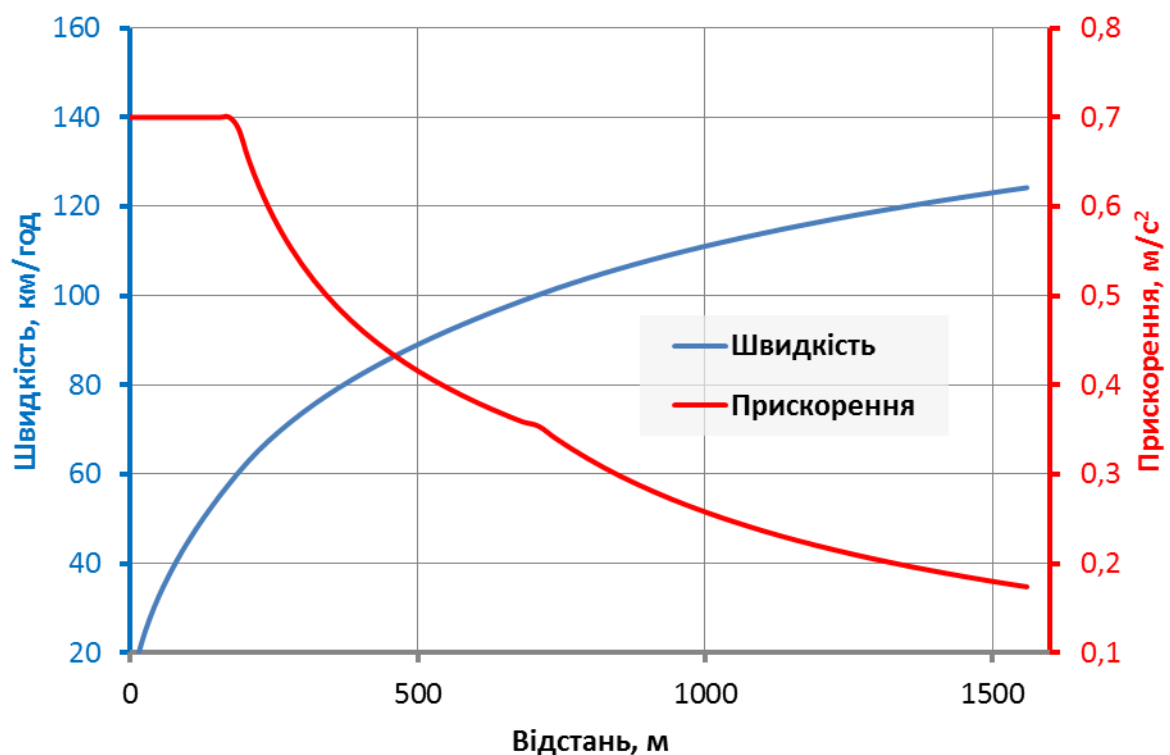


Рисунок 2.3 – Розгін електропоїзда HRCS2 на ділянці наближення до залізничного переїзду

Аналіз даних, які наведені у табл. 2.1 та на рис. 2.4 показує, що ефективність пристрою, який працює за зазначеним методом (алгоритмом) зростає при зменшенні фактичної швидкості руху поїздів ділянкою наближення.

Таблиця 2.1

Порівняння часу очікування автодорожніх транспортних засобів перед закритим переїздом для існуючих та розроблюваної систем

Швидкість, км/год	Існуючі системи		Розроблена система		Різниця в часі, с
	Координата закриття переїзду, м	Час закритого стану, с	Координата закриття переїзду, м	Час закритого стану, с	
10	1556	560	428	108	452
20	1556	280	539	99	181

30	1556	187	650	90	97
40	1556	140	761	81	59
50	1556	112	873	73	39
60	1556	93	980	66	27
70	1556	80	1036	62	18
80	1556	70	1106	58	12
90	1556	62	1184	54	8
100	1556	56	1266	50	6
110	1556	51	1336	47	4
120	1556	47	1416	44	3
130	1556	43	1503	42	1
140	1556	40	1556	40	0

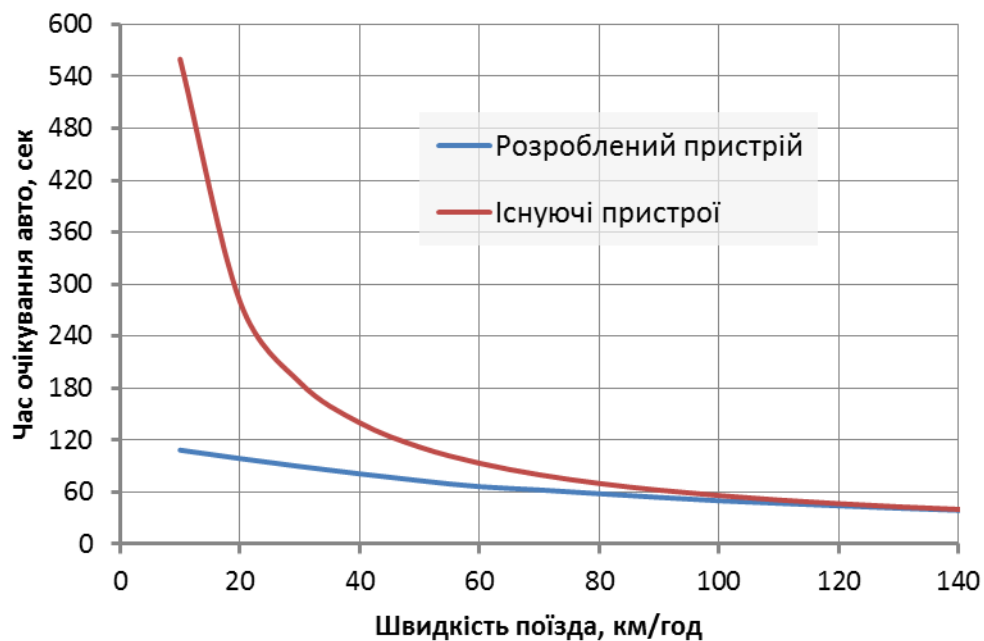


Рисунок 2.4 – Час очікування авто при обладнанні переїзду існуючими та запропонованою системами

Крім цього, проаналізувавши дані, які наведені у табл. 2.1 та на рис. 2.4 можна стверджувати, що при використанні розробленої системи максимальний час очікування автодорожніх транспортних засобів перед закритим переїздом у порівнянні з існуючими системами на ділянці наближення із максимальною швидкістю руху поїздів 140 км/год зменшується від 560 до 108 с. (у 5,2 рази).

2.3. Математична модель визначення режимів роботи рейкового кола

Методи та засоби визначення координати та швидкості поїзду шляхом контролю електричних параметрів рейкових кіл ділянки наближення розглянуто у роботах [57; 58; 61; 90], однак залежність первинних параметрів рейкових кіл від опору ізоляції баласту не сприяє забезпеченню необхідної точності методу.

Тому у роботі поставлено завдання розробити комплексну систему з контролем режиму роботи рейкової лінії та її опору ізоляції. У системах залізничної автоматики і телемеханіки у якості датчика інформації про рух поїздів застосовують

електричні рейкові кола, у яких у якості чутливого елемента використовуються рейкові лінії [91–94]. Рейкові кола працюють у трьох основних режимах роботи [95–98]: нормальному, шунтовому та контрольному. Стан рейкового кола, коли воно справне і у його межах відсутній рухомий склад відповідає його роботі у нормальному режимі. При вступі рухомої одиниці у межі рейкової лінії рейкове коло переходить у шунтовий режим. Стан пошкодження рейкової лінії відповідає роботі рейкового кола у контрольному режимі.

Однією із задач, які вирішуються у цій роботі є контроль за процесом руху залізничних транспортних засобів при наближенні до переїзду. З цією метою необхідно забезпечити визначення їх координати та швидкості у реальному часі. Хоча колійне реле, яке увімкнене вкінці рейкового кола надійно справляється із виявленням нормального режиму, однак, шунтовий режим і контрольний за допомогою колійного реле розрізнити неможливо. Тому, протягом останніх років, науковці працюють над методами і засобами, які надають додаткову інформацію щодо режиму, у якому на даний час працює рейкове коло [52; 54; 56; 58; 61; 99]. Одним із таких підходів є визначення режимів роботи за характеристичними параметрами рейкового кола, до яких належать напруги і струми на початку рейкової лінії, або їх відношення, тобто вхідний імпеданс рейкової лінії [11; 15; 22; 100].

Перевага методів розпізнавання станів рейкових кіл полягає у значному розширенні функціональних можливостей класифікації станів за рахунок суттєвого збільшення глибини розпізнавання засобами множин інформативних ознак та функцій і розбиття станів на множини класів (з окремим виділенням нового класу – класу несправного стану апаратури). Крім зазначеного можливо організовувати внутрішню логіку із застосуванням потужного математичного апарату при використанні комп'ютерної техніки, який дасть змогу, шляхом ускладнення алгоритмів класифікації, підвищити точність розпізнавання, що, у свою чергу, забезпечить нечутливість таких систем до зовнішніх впливів, а, в цілому – до підвищення як надійності таких систем так і безпеки руху поїздів [61; 99; 100].

Для побудови такого пристрою (із застосуванням принципів розпізнавання наборів вхідних інформативних ознак) необхідно вирішити декілька завдань [16].

Перше завдання пов'язане із визначенням параметрів, за допомогою яких отримується інформація про стан рейкової лінії, оскільки кожна виміряна величина є деякою її характеристикою. Це проблема чутливості рейкових кіл. На рис. 2.5 наведено структурну схему проведення таких вимірювань.

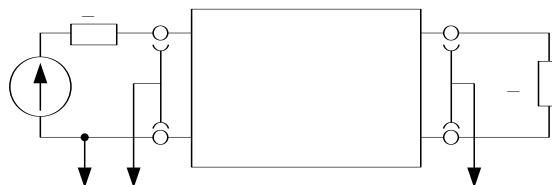


Рисунок 2.5 – Структурна схема проведення вимірювань інформативних ознак

Результати вимірювань становлять набір ознак у кожному з режимів роботи рейкового кола у різні моменти часу, які можна подати у наступному вигляді:

$$, \quad (2.8)$$

де: U – амплітуда та фаза напруги на вході рейкової лінії;
 I – амплітуда та фаза струму на вході рейкової лінії;
 n – поточний номер вимірюваної величини, k – режим роботи рейкового кола ($k=1$ – нормальний, $k=2$ – шунтовий, $k=3$ – контрольний режим роботи) [15].

Друге завдання полягає у знаходженні оптимальних процедур (функцій), які необхідні для встановлення режиму роботи рейкового кола. Такі функції можна отримати багатьма способами [101–103]. У тих випадках, коли про розпізнавані образи є повні відомості, функції визначення режиму роботи рейкового кола можуть бути визначені точно на основі цієї інформації. У іншому випадку необхідно використовувати навчальні процедури системи. При їх створенні, на першому етапі, вибираються функції мінімальної складності, а далі, у процесі виконання ітеративних кроків, їх доводять до оптимального, чи прийнятного виду [99].

При моделюванні рейкову лінію подають у виді електричної довгої лінії з рівномірно розподіленими параметрами та високим рівнем різноманітних впливів [12; 22; 92; 98]. Зокрема, при вступі на ділянку рейкового кола рухомої одиниці, або при порушенні цілісності рейкових ниток, відбувається перехід з класу характерних ознак нормального режиму у клас ознак шунтового чи контрольного режимів. Однак, на зміну структурної схеми рейкового кола також впливають також інші причини, наприклад, забруднення баластного шару та шпал, чи наявність різних шпал (дерев'яні, залізобетонні) у межах рейкової лінії, на електрифікованих ділянках – заземлення опор контактної мережі, що є причиною повздовжньої асиметрії у вигляді неоднорідності опору ізоляції рейкової лінії.

Для визначення та дослідження областей існування характеристичних ознак і формування ознак станів рейкової лінії в нормальному, шунтовому та контрольному режимах із застосування класичного підходу моделювання рейкового кола [96; 98], було реалізовано математичну модель у системі комп'ютерної алгебри Mathcad 15 [104; 105] та середовищі розробки для візуальної мови програмування компанії National Instruments LabVIEW 2012 [106; 107].

2.3.1. Інформативні ознаки знаходження рейкового кола у нормальному режимі роботи

На рис. 2.6 наведена узагальнена схема заміщення рейкового кола ділянки наближення в нормальному режимі.

Коефіцієнти рейкового чотириполюсника в нормальному режимі роботи мають вид [98]:

$$\begin{aligned} & .DSMT4 \\ & (\text{STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 9}) \end{aligned}$$

де l – довжина рейкової лінії; k – коефіцієнт розповсюдження сигналу рейковою лінією

.DSMT4 ;

STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 10)

– хвильовий опір

.DSMT4 ;(STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 11)

, , , – первинні параметри рейкової лінії; – частота сигнального струму; – питомий опір рейок; – опір ізоляції рейкової лінії, а на електрифікованих ділянках – еквівалентний опір ізоляції рейкової лінії та заземлення опор контактної мережі:

.DSMT4 ;(STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 12)

– опір заземлення опор контактної мережі, приведений до 1 км рейкової лінії [98].

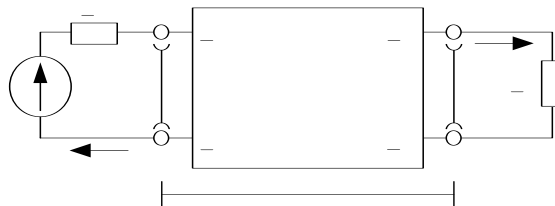


Рисунок 2.6 – Узагальнена схема заміщення рейкового кола ділянки наближення у нормальному режимі роботи

На рис. 2.6: – комплексний опір обмежувача струму на вході рейкової лінії ділянки наближення, – комплексний опір навантаження рейкової лінії, , – відповідно напруга і струм на вході рейкової лінії ділянки наближення, , – відповідно напруга і струм на виході рейкової лінії ділянки наближення, – узагальнений чотириполюсник всієї рейкової лінії із довжиною ділянки наближення.

Співвідношення між напругами і струмами на вході і виході рейкової лінії виражаються за допомогою рівняння станів [98]:

.DSMT4 (STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 13)

Із рис. 2.6 видно, що

.DSMT4

(STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула \s 1 14)

ARABIC \s 1 14)

Система рівнянь (2.13), із урахуванням (2.9) та (2.14), формує математичну модель рейкового кола ділянки наближення в нормальному режимі роботи.

Із системи рівнянь (2.13), з урахуванням (2.14), отримуємо значення напруги і струму на вході рейкової лінії:

.DSMT4

,(STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула \s 1 15)

\s 2. SEQ Формула \s 1 15)

.DSMT4

.(STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула \s 1 16)

2. SEQ Формула \s 1 16)

Значення напруг (2.15) і струмів (2.16) на вході рейкової лінії ділянки наближення, залежно від її первинних (вторинних) параметрів, дають змогу

отримати множину її образів у нормальному режимі роботи

2.3.2. Інформативні ознаки знаходження рейкового кола у шунтовому режимі роботи

Шунтовий режим роботи рейкового кола характеризується наявністю на контрольованій ділянці рухомої одиниці.

На рис. 2.7 наведено узагальнену схему заміщення рейкового кола ділянки наближення в шунтовому режимі роботи.

Оскільки на рейкову лінію ділянки наближення, яка знаходиться в шунтовому режимі роботи дискретно впливає шунт із опором , то узагальнений чотириполіусник рейкової лінії у шунтовому режимі роботи визначається:

.DSMT4

(STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула \s 1 17)

де — коефіцієнти чотириполіусника
рейкової лінії із довжиною км від переїзду до місця знаходження поїзного шунта ; — коефіцієнти чотириполіусника

рейкової лінії із довжиною км від місця знаходження поїзного шунта до кінця рейкової лінії ділянки наближення. Коефіцієнти чотириполюсників та визначаються, як і у нормальному режимі із (2.9) при підстановці у формулу замість довжини рейкової лінії величин відстаней від переїзду до місця знаходження поїзного шунта та від місця знаходження поїзного шунта до кінця рейкової лінії ділянки наближення відповідно.

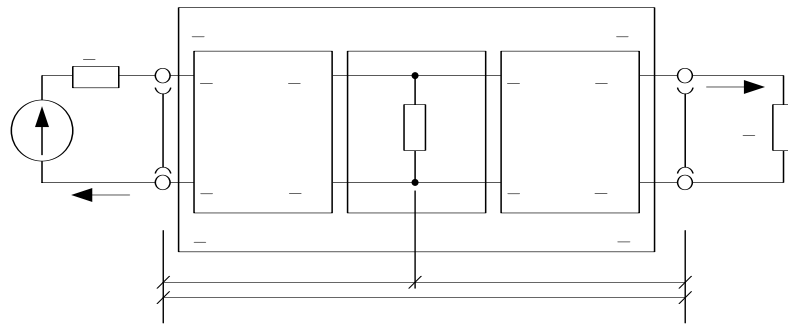


Рисунок 2.7 – Узагальнена схема заміщення рейкового кола ділянки наближення в шунтовому режимі роботи

На рис. 2.7: , – відповідно, напруга і струм на вході рейкової лінії ділянки наближення в шунтовому режимі роботи; , – відповідно, напруга і струм на виході рейкової лінії ділянки наближення в шунтовому режимі роботи; – узагальнений чотириполюсник всієї рейкової лінії із довжиною ділянки наближення; – чотириполюсник рейкової лінії із довжиною від переїзду до місця знаходження поїзного шунта ; – чотириполюсник рейкової лінії із довжиною від місця знаходження поїзного шунта до кінця рейкової лінії ділянки наближення.

Співвідношення між напругами і струмами на вході і виході рейкової лінії у шунтовому режимі роботи виражаються за допомогою рівняння станів:

.DSMT4

(STYLEREf 1 \s

2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 18)

Для схеми рис. 2.7 справедливі співвідношення:

.DSMT4

.(STYLEREf 1 \s 2. SEQ Фор

ARABIC \s 1 19)

Система рівнянь (2.18), із урахуванням (2.17) та (2.19), формують математичну модель рейкового кола ділянки наближення в шунтовому режимі роботи.

Із системи рівнянь (2.18), з урахуванням (2.19), отримаємо значення напруги і струму на вході рейкової лінії:

.DSMT4 (STYLEREF 1

\s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 20)

.DSMT4 (STYLEREF 1 \s 2

. SEQ Формула * ARABIC \s 1 21)

Значення напруг (2.20) і струмів (2.21) на вході рейкової лінії ділянки наближення, залежно від первинних (вторинних) параметрів та координати накладання шунта, дають змогу отримати множину її образів у шунтовому режимі роботи

2.3.3. Інформативні ознаки знаходження рейкового кола у контрольному режимі роботи

Контрольний режим роботи рейкового кола ділянки наближення характеризується переломом рейкової нитки на ділянці наближення.

На рис. 2.8 наведено узагальнену схему заміщення рейкового кола ділянки наближення в контрольному режимі роботи.

Перелом рейкової нитки моделюється шляхом увімкнення у місці розриву опору , величина якого визначається із виразу:

.DSMT4

(STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 22)

де та – ділянки рейкової лінії зліва і справа від місця обриву і рівні, відповідно, та км, – коефіцієнт поверхневої провідності , який характеризує відношення між складовими опору ізоляції, – характеристика складових повного опору рейок (постійна земляного тракту), яка

залежить від частоти сигнального струму (табл. 2.2), – коефіцієнт розповсюдження хвилі земляним трактом рейкової лінії, – коефіцієнт розповсюдження сигналу рейковою лінією, – хвильовий опір рейкової лінії.

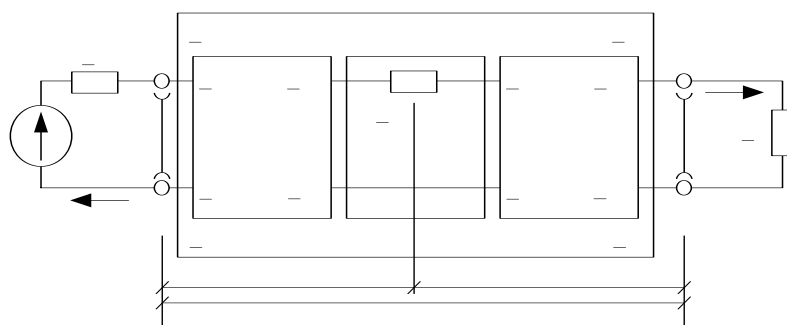


Рисунок 2.8 – Узагальнена схема заміщення рейкового кола ділянки наближення в контрольному режимі роботи

На рис. 2.8: $U_{\text{вх}}$ – відповідно, напруга і струм на вході рейкової лінії ділянки наближення в контрольному режимі роботи; $U_{\text{вих}}$ – відповідно, напруга і струм на виході рейкової лінії ділянки наближення в контрольному режимі роботи; $Z_{\text{вх}}$ – узагальнений чотириполіусник всієї рейкової лінії із довжиною $L_{\text{вх}}$ ділянки наближення; $Z_{\text{вих}}$ – чотириполіусник рейкової лінії із довжиною $L_{\text{вих}}$ від переїзду до місця перелому рейкової лінії із еквівалентним опором $R_{\text{п}}$; $Z_{\text{п}}$ – чотириполіусник рейкової лінії із довжиною $L_{\text{п}}$ від місця перелому рейкової лінії із еквівалентним опором $R_{\text{п}}$ до кінця рейкової лінії ділянки наближення.

Максимальні значення коефіцієнта поверхневої провідності $k_{\text{п}}$ для різних типів шпал та баласту становлять для [98]:

- залізобетонних шпал та щебеневого баласту..... 9,1;
- дерев'яних шпал та піщаного баласту..... 3,2;
- дерев'яних шпал та щебеневого баласту..... 1,8.

Оскільки на рейкову лінію ділянки наближення, яка знаходиться в контрольному режимі дискретно впливає ділянка у виді перелому рейкової нитки із кінцевим значенням опору $R_{\text{п}}$, то узагальнений чотириполіусник рейкової лінії визначається як:

$$Z_{\text{п}} = \frac{Z_{\text{п1}} \cdot Z_{\text{п2}}}{Z_{\text{п1}} + Z_{\text{п2}} + R_{\text{п}}} \quad \text{.DSMT4}$$

(STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 23)

де $k_{\text{п1}}$ — коефіцієнти чотириполіусника рейкової лінії із довжиною $L_{\text{п1}}$ від переїзду до місця перелому рейкової нитки; $k_{\text{п2}}$ — коефіцієнти чотириполіусника рейкової лінії із довжиною $L_{\text{п2}}$ км від місця перелому рейкової нитки до кінця рейкової лінії ділянки наближення. Ці коефіцієнти визначаються аналогічно, як і у шунтовому режимі роботи рейкової лінії.

Значення параметрів повного опору рейок типу Р65 (постійної земляного тракту) наведені в табл. 2.2 [98].

Таблиця 2.2

Значення параметрів повного опору рейок типу Р65 для різних частот

$f, \text{Гц}$	25	50	75	125	175	225	475	725	1000	2000
Е										
Модуль	1,61	1,73	1,76	1,78	1,88	1,85	1,96	1,96	1,94	1,91
Аргумент	$9^\circ 54'$	$6^\circ 10'$	$5^\circ 40'$	$4^\circ 10'$	$3^\circ 40'$	$2^\circ 32'$	$1^\circ 40'$	$0^\circ 25'$	$-0^\circ 25'$	$-1^\circ 25'$

Співвідношення між напругами і струмами на вході і виході рейкової лінії у контрольному режимі роботи виражаються за допомогою рівняння станів:

.DSMT4

(STYLEREF 1

\s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 24)

Для схеми рис. 2.8 справедливі співвідношення:

.DSMT4

.(STYLEREF 1 \s 2. SEQ Ф

ARABIC \s 1 25)

Система рівнянь (2.24), із урахуванням (2.23) та (2.25), формують математичну модель рейкового кола ділянки наближення в шунтовому режимі.

Із системи рівнянь (2.24), з урахуванням (2.25), отримуємо значення напруги і струму на вході рейкової лінії:

.DSMT4

,(STYLEREF 1

\s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 26)

.DSMT4

.(STYLEREF 1 \s

2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 27)

Значення напруг (2.26) і струмів (2.27) на вході рейкової лінії ділянки наближення у контрольному режимі роботи, залежно від первинних (вторинних) параметрів та координати перелому рейки, дають змогу отримати множину її

образів контрольному режимі роботи

2.3.4. Визначення інформативних ознак у різних режимах роботи

З метою визначення інформативних ознак у різних режимах роботи рейкового кола у системі комп'ютерної алгебри Mathcad 15 та у середовищі розробки для візуальної мови програмування компанії National Instruments LabVIEW 2012 за методикою, яка викладена вище було проведено моделювання кодового рейкового

кола змінного струму з частотою 50 Гц довжиною 2,5 км. Моделювання здійснювалось у нормальному, шунтовому та контрольному режимах роботи рейкового кола із урахуванням опору ізоляції рейкової лінії, а для електрифікованих ділянок – еквівалентного опору ізоляції рейкової лінії та заземлення опор контактної мережі. У шунтовому та контрольному режимах роботи моделювання здійснювалось із урахуванням координати накладання шунта (шунтовий режим) чи обриву рейкової лінії (контрольний режим). При цьому шунт, чи еквівалентний опір обриву рейкової лінії прикладалися до її кінця (з релейної сторони). Крім визначення входних напруги і струму на кожному кроці також визначався і входний імпеданс рейкової лінії.

Оскільки напруга, струм на вході рейкової лінії та її входний імпеданс – комплексні величини, то доцільно розглянути поведінку кожного із їх компонентів, а саме модуля (абсолютного значення), аргументу (фази), реальної та уявної частин. Однак, як зазначено у роботі [11] найбільш прийнятною величиною для визначення координати поїзда в межах рейкового кола є компонент модуля величин, оскільки залежності решти компонентів комплексних значень напруги, струму та входного імпедансу рейкової лінії володіють значно складнішим характером залежності від координати, що може сприяти неоднозначності сприйняття результатів вимірювань. Крім цього, використання дійсних та уявних частин комплексних значень також спряжені із складністю моделей функцій та збільшенням похибок обчислень за рахунок додаткових перетворень чисел.

За результатами моделювання у трьох режимах роботи при зміні питомого опору ізоляції рейкової лінії у межах від 1 до 50 Ом-Км з урахуванням заземлення опор контактної мережі для рейкової лінії із довжиною 2,5 км отримані значення, які наведені на рис. 2.9 – 2.11. На рисунках значення напруги, струму на початку рейкової лінії та її входного імпедансу у шунтовому та контрольному режимах роботи наведені при координаті накладання шунта чи обриву, яка рівна довжині рейкової лінії (релейний кінець) [16].

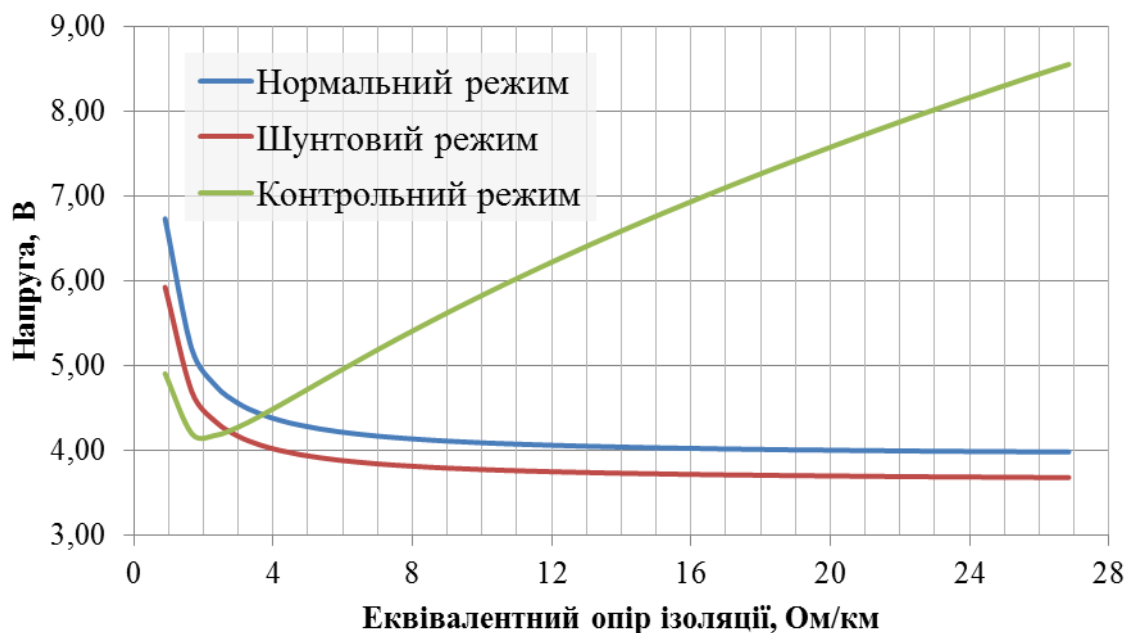


Рисунок 2.9 – Амплітуди напруг на початку рейкової лінії у різних режимах роботи

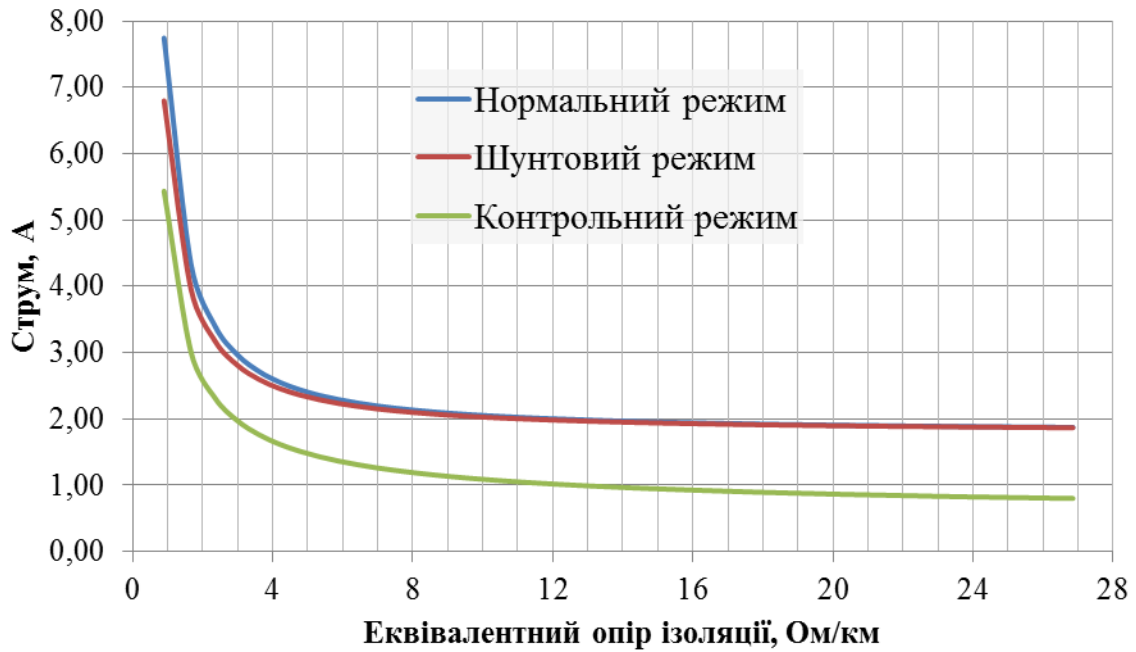


Рисунок 2.10 – Амплітуди струмів на початку рейкової лінії у різних режимах роботи

Аналіз графіків (рис. 2.9) показує, що амплітуди напруг на вході рейкової лінії змінюються, відповідно: у нормальному режимі в 1,69 рази (max = 6,73 В, min = 3,98 В); у шунтовому режимі в 1,61 рази (max = 5,93 В, min = 3,68 В); у контрольному режимі в 1,74 рази (max = 10,67 В, min = 0,9 В).

Амплітуди струмів на вході рейкової лінії (рис. 2.10) змінюються, відповідно: у нормальному режимі в 4,13 рази (max = 7,75 А, min = 1,87 А); у шунтовому режимі в 3,64 рази (max = 6,8 А, min = 1,87 А), у контрольному режимі в 6,78 рази (max = 5,44 А, min = 0,8 А).

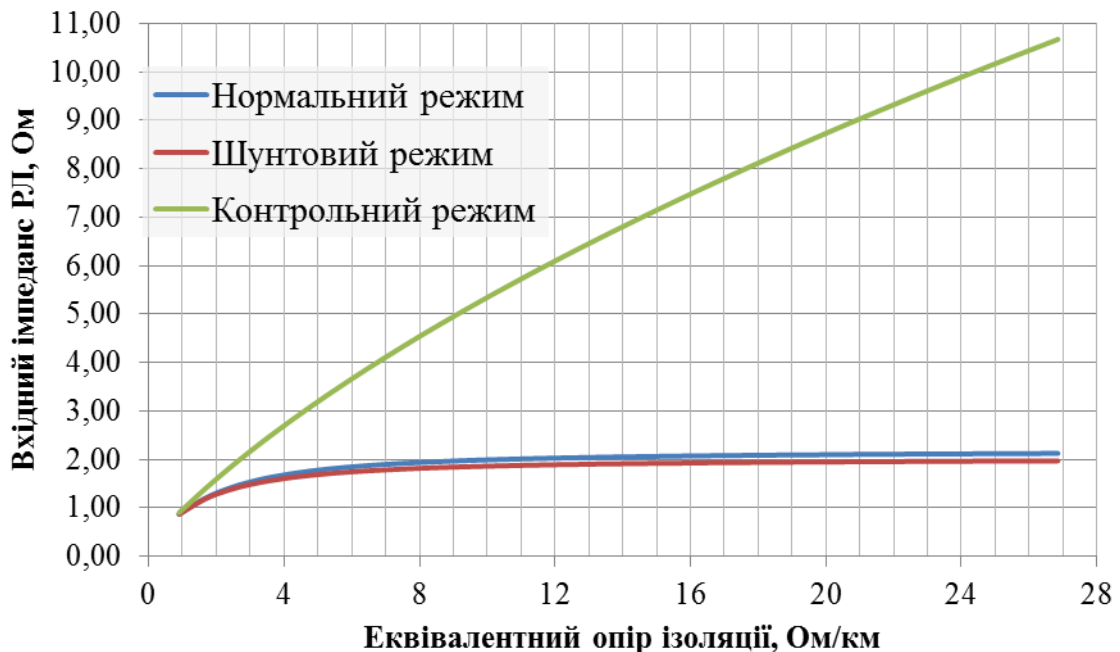


Рисунок 2.11 – Вхідний імпеданс рейкової лінії у різних режимах роботи

Вхідний імпеданс рейкової лінії (рис. 2.11) змінюються, відповідно: у нормальному режимі в 2,45 разів ($\max = 2,12 \text{ Ом}$, $\min = 0,87 \text{ Ом}$); у шунтовому режимі в 2,26 рази ($\max = 1,97 \text{ Ом}$, $\min = 0,87 \text{ Ом}$); у контрольному режимі в 11,82 рази ($\max = 10,67 \text{ Ом}$, $\min = 0,9 \text{ Ом}$).

Модель визначення ознак рейкового кола, яка виконана у середовищі розробки для візуальної мови програмування компанії National Instruments LabVIEW 2012, наведена на рисунку В.1 Додатку В. Загальний вигляд вікна програми-моделі визначення ознак роботи рейкового кола для нормального режиму наведений на рисунку В.2 Додатку В.

2.4. Визначення режиму роботи рейкової лінії за її характеристичними параметрами

Хоча колійне реле, яке увімкнене в кінці рейкового кола надійно справляється із виявленням нормального режиму, однак, шунтовий і контрольний режими за допомогою колійного реле розрізнити неможливо. Тому існує потреба у розробці додаткових методів та засобів, за допомогою яких визначатиметься режим, у якому на даний час знаходиться рейкове коло. Одним із таких підходів є визначення режимів роботи за характеристичними параметрами (ознаками) рейкового кола, до яких належать напруги і струми на початку рейкової лінії, або їх відношення, тобто вхідний імпеданс рейкової лінії [11].

Для формування функцій ознак режимів роботи рейкового кола необхідно вирішити наступні задачі [16]:

- провести вибір первинних ознак станів рейкового кола та їх описати;
- сформулювати функції для визначення – нормального, – шунтового, – контрольного режимів роботи рейкового кола.

У якості характеристичних ознак станів рейкового кола виступають напруги та струми, виміряні на початку рейкової лінії. Оскільки характер зміни цих ознак нелінійний, це не дозволяє використовувати окремо кожен з них для визначення режиму роботи рейкового кола. Крім цього окремі значення ознак у різних режимах роботи повторюються. Тому необхідно використовувати сукупність ознак (напруги і струми на вході рейкової лінії), або їх відношення (вхідний імпеданс рейкової лінії).

У зв'язку із зазначеним, з метою визначення режиму роботи рейкового кола, а отже і його стану доцільно скористатися алгоритмом фіксації стану, який базується на множині функцій ознак, коли кожному зі станів рейкової лінії відповідає свій показник (ознака), а відповідно і функція ознаки. Математичний опис цих ознак станів рейкового кола відповідає моделі рейкового кола у різних режимах роботи. У результаті отримаємо функції ознак станів у виді:

- для нормального режиму;
- для шунтового режиму;
- для контрольного режиму.

При визначенні стану застосуємо підхід, коли сукупність ознак

, які характеризують певний стан рейкового кола (α , β , γ), описується такою функцією, яка при будь-яких значеннях залишається майже незмінною у кожному зі станів (режимів роботи) рейкового кола, тобто

– у нормальному,

– у шунтовому та

– у контрольному. В якості належності до ознак

приймаються конкретні числові значення:

– для станів, коли

рейкове коло працює у нормальному режимі,

– для станів, коли

рейкове коло працює у шунтовому режимі та

– для станів, коли

рейкове коло працює у контрольному режимі. Такий вибір значень забезпечує подвійну перевірку станів рейкового кола: за знаком та за значенням. Якщо

, то рейкове коло працює в нормальному режимі і рух дозволено, якщо ж

, то рух заборонено.

У якості функції визначення режиму роботи рейкового кола доцільно застосувати лінійну функцію у виді багаточленів:

.DSMT4

, (STYLEREF 1 \s 2.

SEQ Формула * ARABIC \s 1 28)

де:

– функція стану рейкового кола (1, -1, -10);

коефіцієнти;

– ортогональні функції (многочлени).

У якості ортогональних функцій можна використовувати будь-які ортогональні поліноми, зокрема, поліноми Ерміта, Лагерра, Якобі та їх часткові випадки – Гегенбауера, Лежандра, Чебишева, Кравчука тощо [103].

Найкраще для отримання функцій стану рейкового кола використовувати поліноми Лежандра, які визначені на інтервалі $[-1, 1]$, Ерміта, які визначені на інтервалі $[-\infty, \infty]$, або Лагерра, які визначені на інтервалі $[0, \infty]$.

Зокрема, у роботі [99] пропонується функції отримувати шляхом застосування поліномів Лагерра, які ортогональні відносно вагової функції

на інтервалі $[0, \infty]$ і забезпечують достатню точність проведення класифікації станів рейкового кола при мінімальній складності самих функцій.

Багаточлени Лагерра отримують із рекурентного співвідношення [101; 103]:

$$.DSMT4, \quad .DSMT4 \quad (2.29)$$

де та .
Ортонормовані багаточлени Лагерра визначаються із наступного співвідношення [101; 103]:

$$.DSMT4, \quad .DSMT4 \quad (2.30)$$

На точність класифікації стану (режиму роботи) рейкового кола суттєво впливає порядок функцій – при підвищенні порядку здатність функцій класифікувати стани зростає. При цьому, спочатку порядок функцій вибираємо мінімальним (рівним 2), а потім доводимо до оптимального виду.

Оскільки кожному з режимів роботи рейкового кола належить множина значень струмів і напруг при різних умовах роботи (стан опору ізоляції, положення шунта чи обриву рейкової нитки), то отримаємо наступні множини значень:

$$.DSMT4$$

STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 31)

де $.DSMT4$ – кількість станів (змінюється від одиниці до кількості станів рейкової лінії у кожному із режимів роботи); , , –

коефіцієнти, , , –
функції множини значень вхідних параметрів.

Функції множини значень вхідних параметрів у кожному із режимів роботи

, , визначаються
за допомогою ортонормованих багаточленів Лагерра від характеристичних ознак рейкової лінії як:

$$.DSMT4$$

(2.32)

Похибки визначення стану у кожному із режимів роботи рейкового кола (, ,) отримаємо за формулою:

.DSMT4 (2.33)

Адекватність моделі можна перевірити, підставивши у формулу визначення одного стану рейкової лінії характеристичні параметри в іншому стані.

Для формування функцій станів рейкової лінії із комбінаціями характеристичних параметрів (,) та використовуючи викладений метод для рейкового кола з довжиною 1,5 км, частотою сигнального струму 50 Гц, при зміні питомого опору ізоляції від 1 до 50 Ом/км з урахуванням заземлення опор контактної мережі здійснено моделювання у системі комп'ютерної алгебри Mathcad 15.

У результаті зазначеного моделювання отримані коефіцієнти при поліномах для різних режимів роботи, які становлять:

, ,
 – для нормального, ,
 , , – для
 шунтового та , ,
 , – для контрольного
 режимів роботи рейкових кіл.

Тоді область існування функцій:

знаходиться у межах від 1,001 до 0,987 (.DSMT4), максимальна похибка обчислень становить у нормальному режимі роботи рейкового кола;

знаходиться у межах від -0,960 до -1,039 (.DSMT4), максимальна похибка обчислень становить у шунтовому режимі роботи рейкового кола;

знаходиться у межах від -9,996 до -10,013 (.DSMT4), максимальна похибка обчислень становить у шунтовому режимі роботи рейкового кола.

Отже, якщо функція існування нормального режиму при вимірних значеннях напруги і струму на вході рейкової лінії (характеристичних параметрах) дасть ознаку у межах області її існування (від 1,001 до 0,987), то рейкове коло працює у нормальному режимі. Якщо функція існування шунтового режиму при вимірних значеннях напруги і струму на вході рейкової лінії дасть ознаку у межах області її існування (від -0,960 до -1,039), то рейкове коло працює у шунтовому режимі. Якщо функція існування контрольного режиму при вимірних значеннях напруги і струму на вході рейкової лінії дасть ознаку у межах області її існування (від -9,996 до 10,013), то рейкове коло працює у контрольному режимі. Якщо ні одна із функцій не дає ознаки у межах існування, то констатуємо несправність апаратури.

Адекватність даної моделі перевірена та підтверджена шляхом підстановки у кожен із функцій існування значень напруг і струмів для інших режимів роботи (підстановка у функцію існування нормального режиму значень, які належать шунтовому та контрольному режимам; у функцію існування шунтового режиму значень, які належать нормальному та контрольному режимам; у функцію існування контрольного режиму значень, які належать нормальному та шунтовому режимам). У результаті такої операції не було отримано ознак у межах існування відповідно нормального, шунтового та контрольного режимів роботи рейкового кола.

Інший підхід до визначення режиму роботи рейкової лінії полягає у виявленні, за станом колійного реле, того факту, що рейкове коло на даний момент не працює у нормальному режимі роботи. Наступним кроком у цьому випадку є відокремлення контрольного режиму від шунтового. Це можна реалізувати шляхом порівняння значення вхідного імпедансу рейкової лінії у теперішньому стані із його значенням у іншому режимі роботи. Виходячи із даних, наведених на графіках рис. 2.11 при одному і тому ж значенні опору ізоляції рейкової лінії її вхідний імпеданс у різних режимах роботи відрізняється. Навіть при значенні опору ізоляції рейкової лінії 0,5 Ом/км мінімальна різниця між значеннями її вхідного імпедансу у контрольному та шунтовому режимах роботи для кодового рейкового кола 50 Гц із довжиною 2,5 км становить 0,34 Ом. При більших значеннях опорів ізоляції рейкової лінії різниця між значеннями вхідного імпедансу у контрольному та шунтовому режимах роботи збільшуватиметься. Зазначене наведено у виді графіків рис. 2.12, де відображено значення вхідного імпедансу в шунтовому та контрольному режимах роботи при низьких (до 3 Ом) значеннях еквівалентного опору ізоляції рейкової лінії. За даними цього графіка добре видно, що за модулем вхідного імпедансу рейкової лінії можна відокремити шунтовий режим від контрольного.

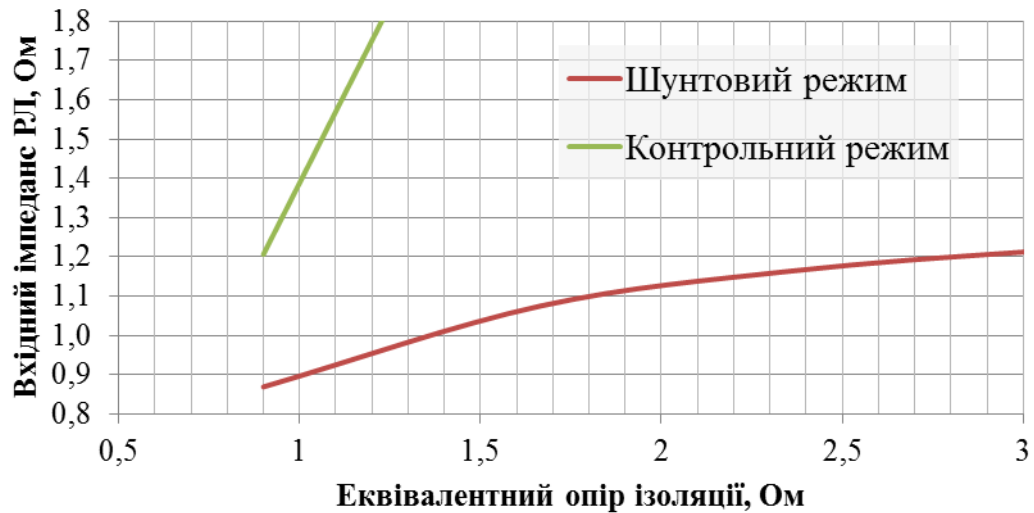


Рисунок 2.12 – Вхідний імпеданс рейкової лінії в шунтовому і контрольному режимах при низьких значеннях опору ізоляції рейкової лінії

Необхідно зазначити, що шунтовий і нормальний режими роботи рейкового кола за допомогою такого підходу відокремити досить складно, оскільки значення вхідного імпедансу рейкової лінії у цих режимах майже не відрізняються (особливо при низьких значеннях опору ізоляції). Тому необхідно ці режими розділяти за станом колійного реле.

Також необхідно зазначити, що використання алгоритму 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. У свою чергу, 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 еквівалентний опір її ізоляції.

2.5. Визначення координати накладання шунта

Якщо рейкове коло на даний момент знаходиться в шунтовому режимі (за результатами визначення режиму роботи рейкового кола), з метою визначення координати накладання шунта (першої колісної пари локомотива), необхідно виконати моделювання рейкового кола у шунтовому режимі роботи. Метою цього моделювання є виявлення залежності значення напруг і струмів на вході рейкової лінії (живильний кінець) та її вхідного імпедансу від координати накладання шунта при різних значеннях опору ізоляції рейкової лінії.

Моделювання кодового рейкового кола частотою 50 Гц у шунтовому режимі роботи здійснювалося із використання класичного підходу див. п. 0 за моделлю, яка наведена на рис. 2.13.

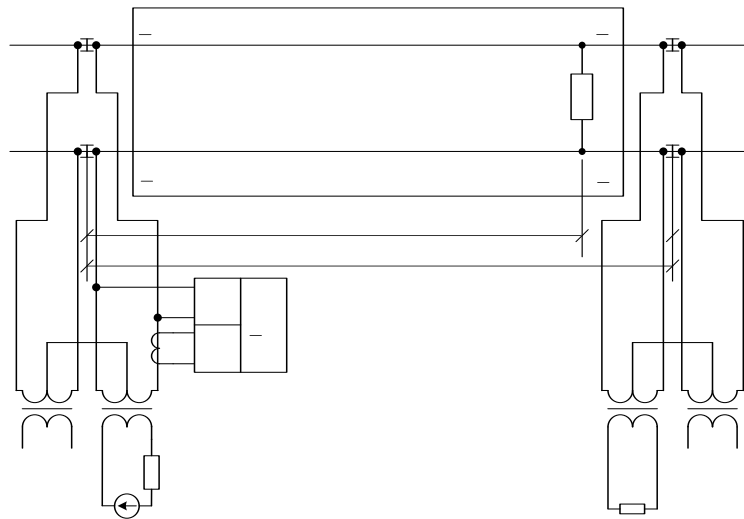


Рисунок 2.13 – Модель визначення координати накладання шунта за вхідним імпедансом рейкової лінії

Отримані залежності модулів напруг і струмів на початку рейкової лінії довжиною 2,5 км при зміні опорної 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 наведені відповідно на рис. 2.14 та 2.15.

При визначенні координати рухомої одиниці, з метою зменшення кількості інформативних параметрів та спрощення обчислювальних процедур, скористаємося відношенням напруги і струму на вході рейкової лінії, що є її вхідним опором (імпедансом) [108]:

$$(2.34)$$

Рисунок 2.14 – Значення напруги на вході рейкової лінії у шунтовому режимі його роботи при зміні опорної ізоляції (вісь у) та координати шунта (точки 1-250 – вісь х)

Зв'язок між напругою і струмом на початку рейкової лінії (живильна сторона) із напругою і струмом на її кінці (релейна сторона) виражається за допомогою виразу (2.18).

Із (2.34) із урахуванням (2.18) та значень коефіцієнтів отримаємо:

.DSMT4

(2.35)

У шунтовому режимі роботи у якості опору навантаження рейкової лінії виступає опір шунта: . Тому:

STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 36)

Рисунок 2.15 – Значення струму на вході рейкової лінії у шунтовому режимі його роботи при зміні опору ізоляції (вісь у) та координати шунта (точки 1-250 – вісь х)

Зазначені обчислення здійснювалися для рейкових кіл із сигнальним струмом 25, 50, 420, 480, 580, 720 або 780 Гц. Як приклад, на рис. 2.16 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.

Із виразу (2.36) визначимо координату рухомої одиниці:

(STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 37)

Або, після спрощення:

STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула * ARABIC \s 1 38)

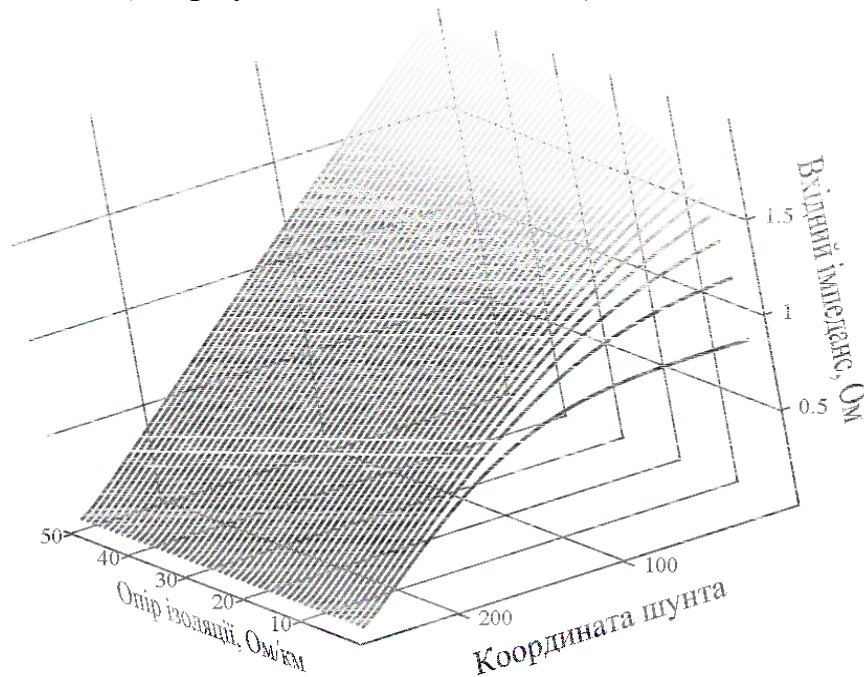


Рисунок 2.16 – Залежність вхідного імпедансу рейкової лінії у шунтовому режимі роботи при зміні опору ізоляції (вісь у) та координати шунта (точки 1-250 – вісь х)

Оскільки координата – додатне число, то:

$$\text{.DSMT4} \\ (2.39)$$

Використовуючи формулу (2.39) можна визначити координату накладання шунта (першої колісної пари) у шунтовому режимі роботи рейкового кола.

Залежність вхідного імпедансу кодового рейкового кола змінного струму частотою 50 Гц із довжиною 2,5 км від координати накладання шунта при значеннях опору ізоляції 1, 2, 5 та 50 Ом/км наведена на рис. 2.17.

Виходячи із рис. 2.17 можна стверджувати, що при опорі ізоляції 1 Ом/км на координатах накладання більше 1,5 км вхідний імпеданс змінюється у незначних межах, тому для таких довгих рейкових кіл (на координатах $>1,5$ км) достовірно значення координати накладання шунта визначити неможливо. Однак для тональних рейкових кіл накладання, які використовуються на ділянках наближення до залізничних переїздів (< 1 км) похибка буде до 3%. Незначною буде похибка і для ділянок, на яких використовуються тональні рейкові кола чи системи АБТЦ.

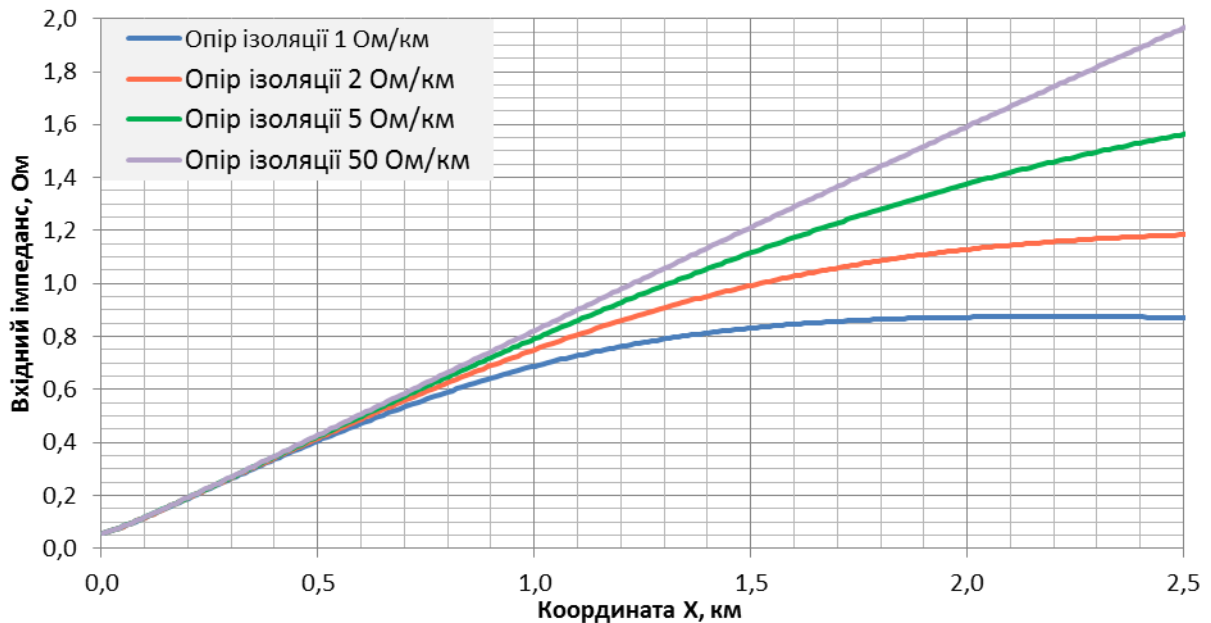


Рисунок 2.17 – Залежність координати накладання шунта при опорах ізоляції рейкової лінії 1, 2, 5 та 50 Ом/км від вхідного імпедансу рейкової лінії.

2.6. Визначення вторинних та первинних параметрів рейкової лінії

До складу формули (2.39) входять значення хвильового опору та коефіцієнту розповсюдження рейкової лінії, які, у свою чергу залежать від опору ізоляції рейкової лінії (на електрифікованих ділянках – еквівалентного опору ізоляції рейкової лінії та заземлення опор контактної мережі). Оскільки у різних умовах експлуатації зазначений опір різний, його необхідно попередньо визначити. Це можна зробити, або у шунтовому режимі роботи у момент вступу поїзда у межі рейкового кола, коли відоме значення координати, яке рівне довжині рейкової лінії, або в період, коли рейкове коло працює у нормальному режимі роботи.

Для будь-якого рейкового кола із довжиною L , конкретним значенням питомого опору рейок r величина вхідного імпедансу рейкової лінії як у нормальному, так і в шунтовому режимах роботи однозначно визначатиметься її опором ізоляції (на електрифікованих ділянках – еквівалентним опором ізоляції рейкової лінії та заземлення опор контактної мережі).

Для визначення опору ізоляції у нормальному режимі роботи скористаємося зв'язками між напругою і струмом на початку і вкінці рейкової лінії (2.13).

Вхідний опір релейного кінця рейкової лінії визначимо за виразом:

$$Z_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{р}}}{I_{\text{р}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{р}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{л}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{ш}}} \quad (2.40)$$

де: $Z_{\text{вх}}$ – вхідний опір апаратури і реле, під'єднаних до релейного кінця рейкової лінії; $U_{\text{р}}$ – опір колійного реле; $K_{\text{р}}$, $K_{\text{л}}$, $K_{\text{ш}}$ – коефіцієнти чотириполюсника увімкненого між рейковою лінією і колійним реле.

Напругу і струм на початку рейкової лінії ($U_{\text{п}}$, $I_{\text{п}}$) визначимо засобами вимірювання [109; 110], а далі – визначимо вхідний імпеданс рейкової лінії

Коефіцієнти чотириполосника рейкової лінії у нормальному режимі роботи із урахуванням їх властивостей та визначимо із рівняння передачі рейкового кола (2.13), (2.35) [96; 98].

Визначимо коефіцієнт розповсюдження рейкової лінії:

41) γ_{DSMT4} та її хвильовий опір Z_{DSMT4} ; (STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула \s 1 42)

γ_{DSMT4} (STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула \s 1 42)

Крім цього, враховуючи, що питомий опір рейок визначається як

γ_{DSMT4} , (STYLEREF 1 \s 2. SEQ Формула \s 1 42) значення коефіцієнту розповсюдження та хвильового опору рейкової лінії можливо відкоригувати, оскільки питомий опір відомий для усіх типів рейок та не залежить від погодних та інших факторів.

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

$$\gamma_{DSMT4} = \dots \quad (2.44)$$

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

2.7. Висновки до розділу

Запропонований спосіб управління переїзною сигналізацією передбачає виділення окремої ділянки, яка знаходиться перед ділянкою наближення до залізничного переїзду та призначена для вимірювання швидкості та прискорення поїзда, що наближається до залізничного переїзду. Під час знаходження поїзда на цій ділянці визначається також і час затримки на спрацювання переїзної автоматики, завдяки чому фіксується час закритого стану переїзду для автодорожніх транспортних засобів.

Удосконалений 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 її довжини. Як впливає з рис. REF Рис_3_04 \h * MERGEFORMAT 2.4, ефективність пристрою, який працює за зазначеним методом (алгоритмом) зростає при зменшенні фактичної швидкості руху поїздів ділянкою наближення. Максимальний час очікування автодорожніх транспортних засобів від моменту спрацювання переїзної сигналізації до моменту входження голови поїзда у межі залізничного переїзду при використанні розробленої методики

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.

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 амплітуди напруг на вході рейкової лінії змінюються, відповідно: у нормальному режимі в 1,69 рази ($\max = 6,73 \text{ В}$, $\min = 3,98 \text{ В}$); у шунтовому режимі в 1,61 рази ($\max = 5,93 \text{ В}$, $\min = 3,68 \text{ В}$); у контрольному режимі в 1,74 рази ($\max = 10,67 \text{ В}$, $\min = 0,9 \text{ В}$). Амплітуди струмів на вході цієї рейкової лінії змінюються, відповідно: у нормальному режимі в 4,13 рази ($\max = 7,75 \text{ А}$, $\min = 1,87 \text{ А}$); у шунтовому режимі в 3,64 рази ($\max = 6,8 \text{ А}$, $\min = 1,87 \text{ А}$), у контрольному режимі в 6,78 рази ($\max = 5,44 \text{ А}$, $\min = 0,8 \text{ А}$). Вхідний імпеданс цієї рейкової лінії змінюється, відповідно: у нормальному режимі в 2,45 разів ($\max = 2,12 \text{ Ом}$, $\min = 0,87 \text{ Ом}$); у шунтовому режимі в 2,26 рази ($\max = 1,97 \text{ Ом}$, $\min = 0,87 \text{ Ом}$); у контрольному режимі в 11,82 рази ($\max = 10,67 \text{ Ом}$, $\min = 0,9 \text{ Ом}$).

Визначення режиму роботи рейкової лінії ділянки наближення 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. Визначення режиму роботи рейкової лінії другим способом передбачає його виконання у два етапи: на першому етапі за станом колійного реле констатується факт, що рейкове коло не працює у нормальному режимі роботи, а на другому – за значенням вхідного імпедансу рейкової лінії відокремлюється шунтовий режим від контрольного.

Використання алгоритму 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 іще одного стану – несправності апаратури рейкової лінії. У свою чергу, 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.

Виходячи із рис. 2.16 можна стверджувати, що при опорі ізоляції 1 Ом/км на координатах накладання більше 1,5 км вхідний імпеданс змінюється у незначних межах, тому для таких довгих рейкових кіл (на координатах $>1,5 \text{ км}$) достовірне значення координати накладання шунта визначити неможливо. Однак для тональних рейкових кіл накладання, які використовуються на ділянках наближення до залізничних переїздів ($< 1 \text{ км}$) похибка буде до 3%. Незначною буде похибка і для дільниць, на яких використовуються тональні рейкові кола чи системи АБТЦ.

РОЗДІЛ 3.

ІНДУКТИВНІ ПЕТЛІ У ЯКОСТІ ДАТЧИКІВ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ ПЕРЕТИНУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ПЕРЕЇЗДУ АВТОДОРОЖНІМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ

3.1. Математична модель індуктивної петлі, яка використовується у якості датчика перетину залізничного переїзду автодорожніми транспортними засобами

Індуктивний контур системи детектування складається із прихованої в проїжджій частині дороги петлі, виконаної із одного або кількох витків провідника. Ця петля за допомогою лінії передачі (тобто підвідного провідника чи кабелю) під'єднана до блоку електроніки. Коли транспортний засіб сприймається нею, відбувається зменшення її індуктивності, що фіксується блоком електроніки [88].

Виходячи з того, що індуктивність лінії передачі збільшує величину індуктивності на вході блоку електроніки, то індуктивність контуру повинна бути більшою, аніж індуктивність лінії передачі. Індуктивність контуру може бути збільшена шляхом намотування додаткових витків чи шляхом введення додаткового трансформатора узгодження між петлею і лінією передачі [88; 111; 112].

Крім цього, зазначена система володіє власними паразитними ємністю та опором, а також зовнішньою паразитною ємністю. Тому необхідно враховувати як внутрішню, так і зовнішню ємність індуктивних петель, оскільки це впливатиме на верхнє обмеження робочої частоти контуру системи. Величина індуктивності петлі та з'єднувальних провідників також обмежує робочу частоту системи [111; 113].

Активний опір провідників, якими виконана петля та кабель з'єднання із блоком електроніки знижує добротність системи. Тому необхідно використовувати провідники відповідних (прийнятних) діаметрів.

Значення індуктивності, спричинене розмірами та кількістю витків контуру чи комбінації петель, разом із довжиною підвідного кабелю, необхідно звести у межі, які сумісні з частотою генерації електронного блоку (контролера).

Для точнішого прогнозування продуктивності системи, була розроблена еквівалентна модель схеми системи петлі та запрограмована на комп'ютері у системі комп'ютерної алгебри Mathcad 15 [104; 105] та програмному комплексі LabVIEW [106; 107] і використовувалась для розрахунку індуктивності, чутливості та добротності системи виявлення залежно від частоти, типу провідників петлі, відстані між провідниками у петлі, тощо.

Еквівалентна модель замкнутої системи містить модель індуктивного контуру (петлі), який змонтований у проїжджій частині та модель лінії передачі (з'єднувальних провідників між блоком електроніки та петлею) [24].

3.1.1. Модель контуру індуктивної петлі

Рис. 3.1 ілюструє модель індуктивної петлі та містить резистивні, ємнісні та індуктивні складові [113].

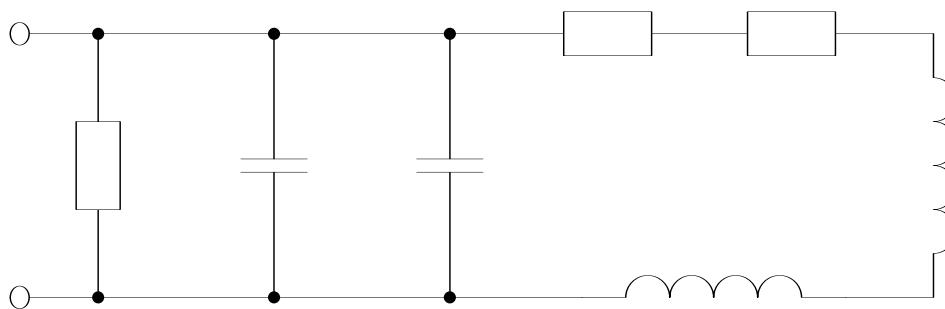


Рисунок 3.1 – Еквівалентна схема контуру індуктивної петлі

На рис. 3.1 прийняті наступні позначення елементів контуру: $R_{\text{акт}}$ – опір діелектричних втрат матеріалу заповнення порожнини, у якій знаходиться петля; $R_{\text{акт}}$ – активний опір петлі (Ом); $R_{\text{з}}$ – опір заземлення (Ом); $C_{\text{вн}}$ – внутрішня ємність петлі; $C_{\text{зов}}$ – зовнішня ємність петлі; $L_{\text{вн}}$ – власна індуктивність петлі; $L_{\text{зов}}$ – зовнішня індуктивність петлі.

Активний опір провідників $R_{\text{акт}}$ та опір заземлення $R_{\text{з}}$, які з'єднані послідовно і становлять опір петлі $R_{\text{акт}}$:

$$R_{\text{акт}} = R_{\text{акт}} + R_{\text{з}} \quad (3.1)$$

Активний опір провідників на постійному струмі визначається із співвідношення [114; 115]:

$$R_{\text{акт}} = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad (3.2)$$

Формула * ARABIC \s 1 2)

де: l – довжина провідника, м; S – площа поперечного перерізу провідника, м^2 . ρ – питомий опір матеріалу провідника, Ом-м (для міді

$\rho = 0,0175$ Ом-м); γ – питома провідність провідника, См/м (для міді $\gamma = 58$ См/м).

Активний опір провідників на змінному струмі за рахунок скін-ефекту збільшиться і становитиме:

$$R_{\text{акт}} = \frac{\rho \cdot l}{S_{\text{екв}}} \quad (3.3)$$

де: $S_{\text{екв}}$ – еквівалентна площа поперечного перерізу провідника на змінному струмі із урахуванням скін-ефекту, м^2 .

Змінний струм протікає тільки поверхневим шаром провідника (скін-шаром) товщина якого δ залежить від частоти і визначається із співвідношення [111; 112; 114]:

.DSMT4

;(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула

– діелектрична проникність вакууму

Гн/м;

–

відносна проникність провідника (для міді

);

–

робоча частота (Гц); – питомий опір матеріалу провідника, Ом-м.

Тоді

STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 5)

Домінуючим серед складових опорів є опір землі, який спричиняється струмами, наведеними у провідному середовищі дорожнього покриття та матеріалу підстилки. Опір заземлення може обмежити чутливість петлі в місцях з великим вмістом вологи. Цей опір розраховується із припущення, що матеріал тротуару та земляного полотна спричиняють магнітні втрати, аналогічні тим, які спричиняються феритовим чи сталевим сердечником в котушці індуктивності. Опір заземлення визначається як [111; 112; 114]

.DSMT4

,(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула

)

де: – тангенс кута втрат матеріалу дорожнього покриття; –

індуктивність петлі (Гн); – кутова робоча частота (радіан); – лінійна робоча частота (Гц).

Опір діелектричних втрат матеріалу заповнення порожнини, у якій знаходиться петля визначається ємністю петлі, укладеної у порожнині проїзної частини як [116]:

.DSMT4

,(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 7)

де: – тангенс кута втрат в матеріалі заповнення; – ємність петлі, укладеної у порожнині проїзної частини.

Ємність петлі має дві складові внутрішню та зовнішню (між провідниками петлі та бічними стінками засипки) (див. рис. 3.2) [117]:

.DSMT4

.(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула

На рис. 3.2 наведено ємнісні зв'язки, які існують в укладеній в землю петлі, між самими провідниками петлі (внутрішня ємність) та між провідниками і бічними стінками засипки (зовнішня ємність).

Ємність індуктивної петлі визначається використовуючи низькочастотну, багат шарову модель трансформатора, яка передбачає рівномірне зчеплення потоку через контур петлі із мінімальним його розсіюванням.

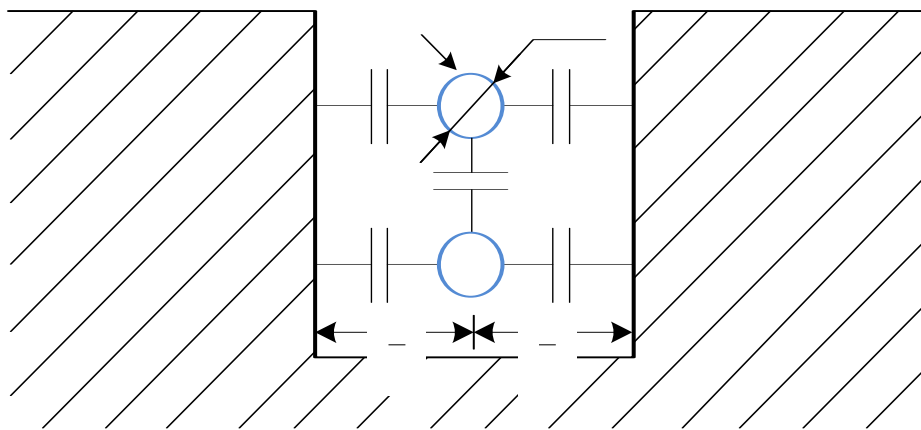


Рисунок 3.2 – Ємнісний зв'язок між провідниками петлі та гніздом

Внутрішню ємність між двома сусідніми ізолюваними площинами індуктивної петлі ілюструє рис. 3.3.

Ємність такого контуру моделюється у виді паралельних ліній, які володіють питомою ємністю [114; 117]:

3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 9)
$$C_{int} = \frac{\Phi_{int}}{U} \quad (3.9)$$
 де: a – відстань між центрами провідників (м); r – радіус провідника (м); ϵ_r – відносна діелектрична проникність матеріалу між провідниками; ϵ_0 – діелектрична проникність повітря ($8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м).

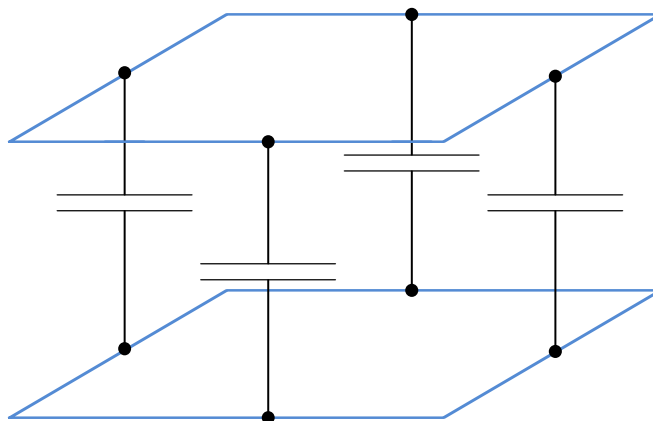


Рисунок 3.3 – Внутрішня ємність індуктивної петлі

Загальна ємність між сусідніми ізолюваними витками петлі визначається як

де: L – периметр петлі (м).

Внутрішня ємність між виводами петлі, яка складається із n витків визначається як [114; 117]:

.DSMT4

.(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула \s 1 11)

де:

– кількість витків петлі.

Зовнішня ємність виникає, коли провідник розташований в безпосередній близькості від діелектричного матеріалу. Цього не відбувається, коли провідник поміщається поряд з іншою провідною поверхнею, такою як метал.

Зовнішня ємність визначається із припущення, що область навколо провідників заповнена діелектриком з низькими втратами і однорідна. Тому [114; 117]:

Зовнішня ємність одиниці довжини провідника виражається як

.DSMT4

.(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула \s 1 12)

де:

– ширина пропилу щілини, м; – радіус провідника петлі, м; – відносна діелектрична проникність матеріалу засипки щілини.

Повна зовнішня ємність провідників петлі становить

.DSMT4

.(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула \s 1 13)

Індукційні петлі збалансовані, як показано на рис. 3.4.

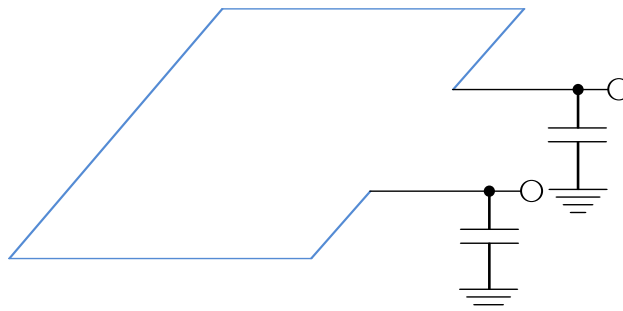


Рисунок 3.4 – Збалансована індуктивна петля

Внаслідок симетричної конфігурації та наявності точки нульового потенціалу у центрі периметру,

.DSMT4

.(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула \s 1 14)

Тоді, зовнішня ємність петлі із

витків визначається як:

.DSMT4

.(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула \s 1 15)

Зовнішня ємність прямо пропорційна діелектричній проникності ущільнювального матеріалу засипки. Якщо засипка гігроскопічна (тобто поглинає і утримує воду) або незаповнена (тобто дає змогу воді проникати між провідниками петлі), зміна ємності буде значною внаслідок значної діелектричної проникності води. Тому, для правильної роботи системи на частотах, більших за 10 кілогерц, значення ємності системи повинне бути зведене до мінімуму.

Індуктивність петлі, так само, як і ємність має дві складові – внутрішню (власну) та зовнішню (внесену) [113]:

.DSMT4 ;(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула

де: – частина від загальної індуктивності, спричинена енергією полів всередині провідника (власна); – частина від загальної індуктивності, спричинена енергією полів ззовні провідника (зовнішня).

Зовнішню індуктивність визначають із виразу [111–114]:

.DSMT4 ,(STYLEREF 1 \s 3.

SEQ Формула * ARABIC \s 1 17)

де: , – відповідно довжина та радіус провідника, м.

Внутрішню індуктивність провідника можна визначити із виразу [111–114]:

.DSMT4 .(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула \

Індуктивність одного витка петлі прямокутної форми (рис. 3.5) складається із суми індуктивностей кожної із сторін прямокутника та взаємних індуктивностей між паралельними сторонами [111–114]:

(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 19)

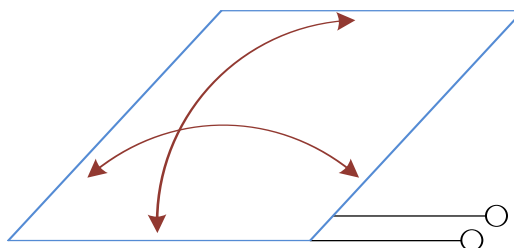


Рисунок 3.5 – Петля у виді прямокутника.

Оскільки ; ;

отримаємо:

.DSMT4 (STYLEREF

1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 20)

де: .DSMT4 , .DSMT4 – індуктивність провідника сторони прямокутника, Гн:

.DSMT4

(STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 21)

μ_0 – довжина відповідної сторони прямокутника петлі, м; μ_0 – радіус провідника петлі, м; μ_0 , μ_0 – взаємна індуктивність між парою паралельних провідників, розташованих у просторі з відносною проникністю, наведених на рис. 3.6 (протилежними сторонами прямокутника петлі):

$$\mu_0 \mu_r \frac{L}{d} \quad (\text{STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 22})$$

де: μ_0 – магнітна постійна (Гн/м); L – довжина провідників, м; d – відстань між провідниками, м.

Така взаємна індуктивність береться зі знаком «+», якщо струми у паралельних провідниках спрямовані у різні сторони, у іншому випадку – зі знаком «-».

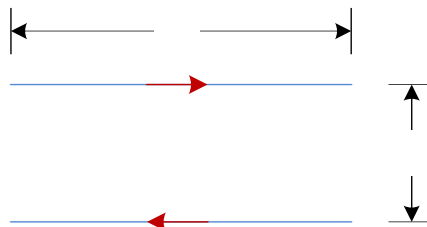


Рисунок 3.6 – Пара паралельних провідників зі струмом.

Згрупувавши логарифмічні члени та спростивши отримуємо формулу для визначення індуктивності одного витка петлі прямокутної форми [118]:

$$\mu_0 \mu_r \frac{L}{d} \quad (\text{STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 23})$$

де: μ_0 – діелектрична проникність вакууму (Гн/м); μ_r – відносна проникність провідника (для міді $\mu_r \approx 1$); L – відповідно довжина та ширина петлі, м; d – радіус провідника, м.

Отримана формула дає розбіжність із точним значенням порядку 1,5%. Збільшити точність визначення індуктивності за цією формулою на певній частоті можна шляхом уведення замість реального значення радіусу провідника його еквівалентне значення, яке враховуватиме товщину скін-шару:

$$\mu_0 \mu_r \frac{L}{d} \quad (\text{STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 24})$$

де: r – радіус провідника, м; δ – товщина скін-шару, м, визначається за формулою (3.4).

Індуктивність петлі, яка складається із N рівномірно розташованих та однакових за розмірами (ідентичних) витків визначається як [116; 118]:

$$L = N^2 \cdot L_0 \quad (3.26)$$

де: N – кількість витків; L_0 – індуктивність одного витка, Гн.

Для петель квадрупольної форми індуктивність визначається, виходячи із наступних моделей: Рис. 3.7 ілюструє два витки петлі квадрупольної форми, а рис. 3.8 – петлі квадрупольної конфігурації із багатьма (N) витками.

Отже, індуктивність петлі квадрупольної форми з N витками становить [118]:

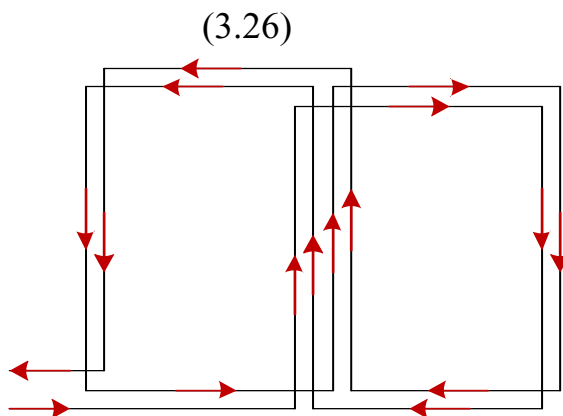


Рисунок 3.7 – Модель петлі квадрупольної форми із двома витками

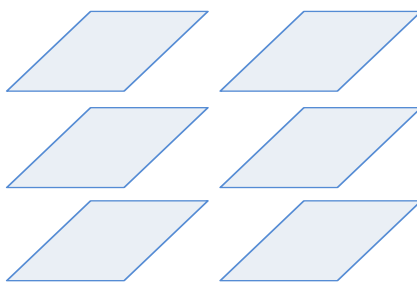


Рисунок 3.8 – Модель петлі квадрупольної форми із багатьма витками

3.1.2. Модель з'єднувальних провідників між блоком петлею та електроніки

Модель з'єднувальних провідників між блоком електроніки та петлею так само, як і модель самої петлі містить резистивні, ємнісні та індуктивні складові (див. рис. 3.1).

Як резистивна так і ємнісна складові з'єднувальних провідників визначається аналогічно, як і для петлі за формулами (3.3) та (3.12) – (3.15) відповідно.

Індуктивну складову визначають, виходячи із співвідношення [119; 120]:

$$L = N^2 \cdot L_0 \quad (3.27)$$

ARABIC \s 1 27)

де: L_{DSMT4} – повна індуктивність одного з’єднувального провідника і визначається за формулами (3.16) – (3.18) або (3.21), Гн; L_{DSMT4} – взаємна індуктивність між парою паралельних провідників, розташованих у просторі визначається за формулою (3.22).

Із достатньою точністю (біля 1,5%) індуктивність двох паралельних провідників із радіусом r , довжиною L_{DSMT4} та відстанню між ними визначається за формулою Марка Томпсона [111]:

L_{DSMT4} (STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 28)

Збільшити точність визначення індуктивності за цією формулою на певній частоті можна шляхом уведення замість реального значення радіусу провідника його еквівалентне значення r_{eq} , яке враховуватиме товщину скін-шару, яке визначається за формулою (3.18).

Модель системи індуктивної петлі рис. 3.1 зводиться до моделі, наведеної на рис. 3.9, де

L_{DSMT4} (STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 29)

та

L_{DSMT4} (STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 30)

Добротність петлі визначається як:

L_{DSMT4} (STYLEREF 1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 31)

Власна резонансна частота петлі визначається із виразу:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_{DSMT4} C_{DSMT4}}} \quad (3.32)$$

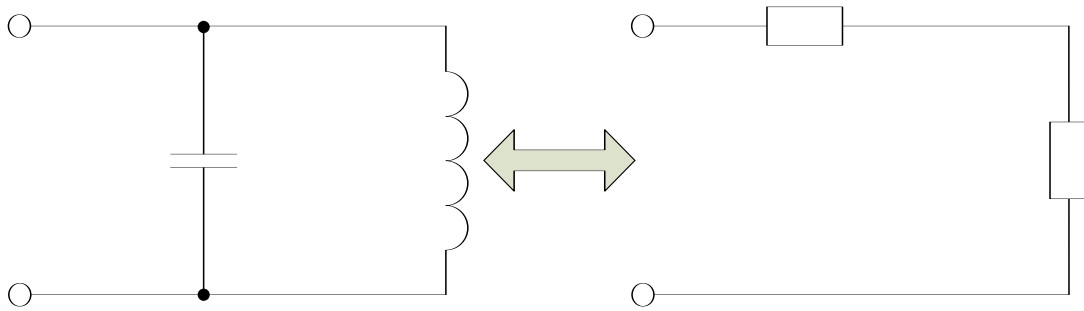


Рисунок 3.9 – Еквівалентна модель схеми індуктивної петлі

Добротність системи характеризує її ефективність та якість її роботи. Для індуктивних петель в якості датчиків рекомендується забезпечувати значення добротності більше 5. При низькому вмісті вологи в покритті та земляному полотні може збільшитися опір контуру заземлення так, що добротність системи індуктивної петлі зменшиться нижче 5, тим самим зменшуючи чутливість блоку електроніки. Значна ємність петлі також знижує добротність системи.

3.1.3. Виявлення транспортних засобів

Струм, який протікає петлею створює магнітне поле навколо неї. Якщо транспортний засіб (або будь-який інший електропровідний об'єкт) входить у межі цього магнітного поля, то це магнітне поле спричиняє виникнення у площині об'єкта вихрових струмів. Ці вихрові струми генерують інше магнітне поле, яке протидіє магнітному полю петлі, що спричиняє зменшення загального магнітного поля навколо контуру. Оскільки індуктивність петлі пропорційна магнітному потоку, це зменшує індуктивність контуру [24].

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. 3.10, *a*).

Для моделювання електричних характеристик такої суцільної пластини можна скористатися сіткою прямокутної форми із симетрично укладених провідників із площею, що дорівнює площі пластини [121] (рис. 3.10, *b*). Однак у такій сітці всі індуковані внутрішні потоки, які створюються провідниками у межах її периметру, взаємно компенсують один одного, тому ними можна знехтувати. Це спричиняє один індукований струм, який протікає тільки периметром сітки, що еквівалентно одному витку петлі прямокутної форми із коротко замкнутими виводами (рис. 3.10, *c*). Отже, у результаті, отримуємо трансформатор із повітряним осердям [121] 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. 3.10, *d*).

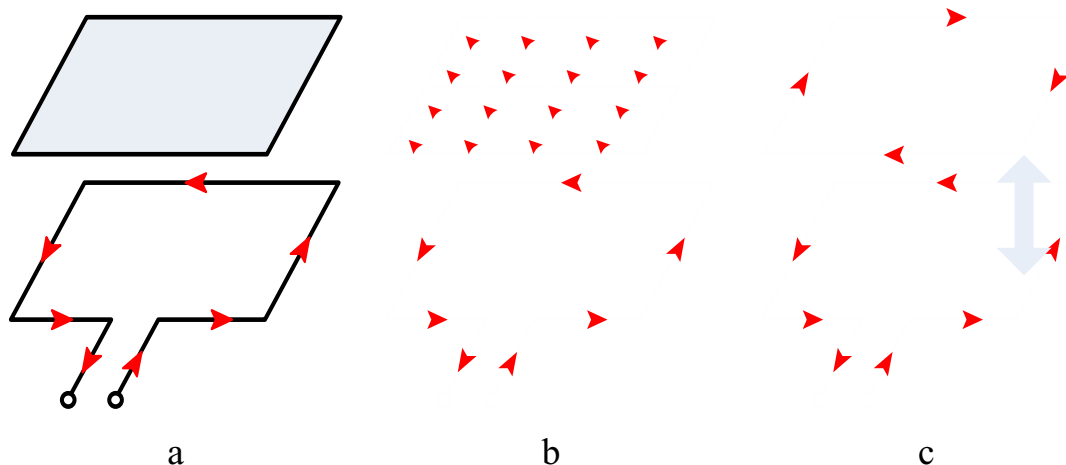


Рисунок 3.10 – Модель взаємодії днища (шасі) автомобіля із петлею
Верхня частина рисунка зображує електричну модель ходової частини автомобіля, нижня частина – індуктивну петлю

Взаємна індуктивність між петлею і коротко замкнутим витком, який виконує роль автомобіля (див. рис. 3.10) визначається із співвідношення [121]

$$M_{12} = \frac{\Phi_{12}}{I_1} \quad (3.10)$$

)

де: M_{12} – взаємна індуктивність між первинною (петлею) та вторинною (короткозамкнутий виток) обмотками трансформатора із повітряним проміжком, Гн;
 N_2 – кількість витків у вторинній замкнутій накоротко обмотці (у даному випадку 1);
 Φ_{12} – магнітний потік між обмотками, Вб; I_1 – струм первинної обмотки трансформатора (петлі), А.

Чутливість детектора у виді індуктивної петлі визначається як відношення зміни індуктивності системи, яка спричинена внесенням у її межі металевого об'єкта до початкового значення індуктивності петлі:

$$S = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.11)$$

де: L_0 – Індуктивність петлі за відсутності транспортних засобів (vehicle outside), Гн;

L – індуктивність петлі за наявності в її межах автомобіля (vehicle inside), Гн.

Чутливість для трансформатора із повітряним осердям, наведеного на рис. 3.10, d , за умови, що його добротність більша 10, визначається із співвідношення:

$$S = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.12)$$

де: L_0 – Індуктивність петлі за відсутності транспортних засобів (vehicle outside), Гн;

), Гн.

де: μ – коефіцієнт зв'язку між обмотками трансформатора; M_{12} – взаємна індуктивність між первинною (петля) та вторинною (короткозамкнутий виток) обмотками трансформатора, Гн; L_1 – індуктивність первинної обмотки трансформатора (петлі), Гн; L_2 – індуктивність вторинної обмотки трансформатора (короткозамкнутого витка), Гн.

Індуктивність петлі із шириною b , змонтованої у проїжджій частині автодорожнього покриття визначається як індуктивність котушки, з довжиною, яка значно більша за її площу визначається [120]:

$$L_1 = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 b}{2} \quad (3.36)$$

3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 36)

Індуктивність короткозамкнутого витка (автомобіля) визначається із виразу:

$$L_2 = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 b}{2} \quad (3.37)$$

\s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 37)

Взаємна індуктивність між короткозамкнутим витком та петлею визначається із виразу [119; 120]:

$$M_{12} = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 b}{2} \quad (3.38)$$

3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 38)

де: μ_r – відповідно відносні магнітні проникності матеріалу, у який поміщена петля, автомобіля, та проміжку трансформатора ($\mu_r = 1$ – повітря); N_1 – відповідно кількість витків у первинній та вторинній обмотках (індуктивна петля та одиночний виток, який моделює автомобіль); b – відповідно площі петлі та ходової автомобіля, м²; h – відстань між петлею і короткозамкнутим витком (відстань від поверхні дороги до днища автомобіля), м; k_1 – коефіцієнти урахування неоднорідності магнітного потоку у межах індуктивної петлі (у проїзній частині) та за її межами (у дорожньому просвіті, автотранспортному засобі, тощо) відповідно.

Отже, враховуючи вирази (3.35) – (3.38) коефіцієнт зв'язку виражається як:

$$\mu = \frac{M_{12}}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (3.39)$$

1 \s 3. SEQ Формула * ARABIC \s 1 39)

Рівняння (3.39) показує, що чутливість:

– зменшується для петель із площею більшою, аніж площа проекції днища транспортного засобу на полотно дороги (це свідчить про те, що для збільшення чутливості необхідно, щоб площа петлі була меншою за найменшу площу днища (шасі) автомобіля, який необхідно виявляти);

– зменшується пропорційно до квадрату відстані днища транспортного засобу від петлі (для виявлення транспортних засобів із значним дорожнім просвітом необхідно, щоб ширина петлі за розмірами була приблизно така-ж як і ширина автомобіля);

– не залежить від кількості витків петлі;

– обернено пропорційна відносній магнітній проникності ущільнювального матеріалу засипки (якщо засипка гігроскопічна (тобто поглинає і утримує воду) або незаповнена (тобто дає змогу воді проникати між провідниками петлі), чутливість петлі до об'єкту знижується);

– обернено пропорційна коефіцієнту урахування неоднорідності магнітного потоку за межами індуктивної петлі (у дорожньому просвіті, автотранспортному засобі, тощо) та прямо пропорційна коефіцієнту урахування неоднорідності магнітного потоку у межах індуктивної петлі (у проїзній частині), тому петлі квадрупольної форми володіють більшою чутливістю.

Метали, з відносною проникністю більшою за одиницю, збільшують власну індуктивність (див. (3.37)). Хоча найбільший приріст індуктивності відбувається, коли сталеве осердя проходить безпосередньо через петлю, однак метал маси транспортного засобу (двигун, трансмісія тощо) буде також дещо збільшувати власну індуктивність. Цей стан називається "феромагнітним ефектом".

Феромагнітний ефект від маси заліза двигуна, трансмісії або диференціала автомобіля не створює індикацію присутності чи проходження. Металеві деталі транспортного засобу зменшують індуктивність петлі за рахунок вихрових струмів, які у ній наводяться.

3.2. Вибір конфігурації та розмірів петлі для використання у якості датчика наявності автодорожнього транспортного засобу.

Можливі варіанти реалізації укладання провідників (витків) індуктивної петлі (рис. 3.11) у формі: кола; квадрата (прямокутника); ромба; шестигранника, восьмигранника; у виді знаку ∞ (квадруполь).

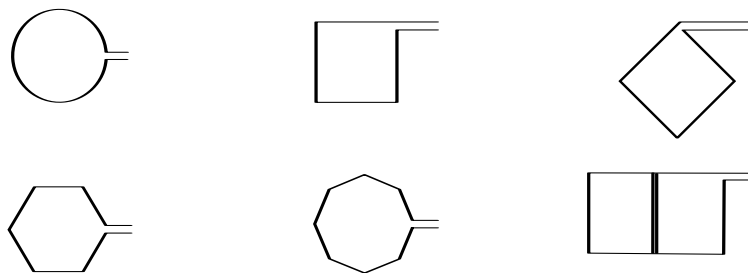


Рисунок 3.11 – Можливі варіанти укладання витків індуктивної петлі
1. коло; 2. квадрат (прямокутник); 3. ромб; 4. шестигранник; 5. восьмигранник; 6. квадруполь.

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

Необхідно також зазначити [116], що петлі квадрупольної форми, у порівнянні з іншими формами петель менше відчувають вплив зовнішніх електромагнітних хвиль на значення індуктивності. Ця особливість таких петель пов'язана із формою

їх укладання, адже така петля складається фактично із двох петель, які укладені назустріч одна одній, що взаємно компенсує вплив зовнішнього електромагнітного випромінювання. Тому, виходячи із зазначеного, потрібно розглянути можливість укладання петлі квадрупольної форми.

Оскільки для збільшення чутливості петлі при виявленні транспортних засобів із значним дорожнім просвітом необхідно, щоб ширина петлі за розмірами була приблизно така-ж як і ширина автомобіля вибиратимемо ширину петлі за базовими розмірами автомобілів. З цією метою розглянемо ширини автотransпортних засобів, які, згідно Правил дорожнього руху [122; 123], можуть перетинати залізничні переїзди.

Аналіз літератури [124–130] показує, що на мережі автодоріг та через залізничні переїзди рухаються автотransпортні засоби із шириною, яка знаходиться в межах від 1 500 мм до 2 500 мм, тому, з метою ефективної фіксації усіх типів автодорожніх транспортних засобів виберемо для ширини петлі середнє значення, тобто 2 м (м).

Як впливає із (3.39), для ефективної фіксації автотransпортних засобів, площа петлі повинна бути меншою за площу днища (шасі) авто, тому вибираємо довжину петлі 1 м (м). У цьому випадку площа петлі становитиме

, а периметр

[24].

Оскільки, згідно (3.39), кількість витків не впливає на чутливість петлі, то цей параметр визначатимемо тільки з точки зору забезпечення номінальної мінімальної індуктивності, яка впливає на стабільність роботи системи. Однак, необхідно врахувати і те, що значна кількість витків петлі додатково збільшує ємність контуру, що знижує власну частоту його коливань. Крім цього, з метою забезпечення стабільної роботи системи, необхідно, щоб індуктивність петлі не була меншою за індуктивність лінії, яка з'єднує петлю із блоком електроніки.

Петля монтуватиметься у щілині, яка виконується у виді пропила у дорожньому покритті і заповнена асфальтом.

Параметри засипки щілин, де монтується петля [131]:

- Матеріал заповнення – асфальт;
- Відносна діелектрична проникність – 4,5;
- Тангенс кута втрат – .
- Ширина щілини – 5 мм;

Відносна діелектрична проникність води – 81.

У якості провідника петлі використаємо одножильний монолітний провідник марки ПВ1 0,5. Його параметри [132]:

- Переріз жил – ;
- Діаметр жил – 0,8 мм;
- Діаметр проводу – 2,4 мм;
- Матеріал ізоляції – полівінілхлорид (ПВХ);
- Відносна діелектрична проникність ізоляції – 3,7;

- Тангенс кута втрат ізоляції –

Скін-ефект у таких провідниках петлі проявлятиметься на частотах, вищих за 70 кГц (див. формулу (3.4)). Тому визначимо ємність, індуктивність, опір, добротність та резонансну частоту петлі із кількістю витків від 1 до 10 без урахування скін-ефекту. Обчислення здійснюватимемо у системі комп'ютерної алгебри Mathcad 15 та середовищі розробки для візуальної мови програмування компанії National Instruments LabVIEW 2012 для петель прямокутної та квадрупольної форми за формулами (3.1) – (3.26). Результати обчислень петлі у формі прямокутника зведені у табл. 3.1. У додатку Г наведено лістинг програми для визначення параметрів петель прямокутної та квадрупольної форми, яка виконана у системі комп'ютерної алгебри Mathcad 15.

Таблиця 3.1

Ємність, індуктивність, опір, добротність та власна резонансна частота петлі прямокутної форми із кількістю витків від 1 до 10

n вит	L мкГн	C нФ	R Ом	Q	f _{рез} кГц
1	10,898	0,270	7,801	1,961	2931,344
2	43,592	0,642	17,784	3,902	951,366
3	98,081	0,901	24,751	6,828	535,299
4	124,366	1,158	31,643	10,212	354,226
5	272,447	1,417	38,612	14,003	256,137
6	392,324	1,679	45,650	18,197	196,091
7	533,997	1,943	52,737	22,793	156,249
8	697,465	2,208	59,858	27,796	128,245
9	882,729	2,474	67,003	33,206	107,689
10	1089,789	2,741	74,166	39,026	92,080

У таблиці: – кількість витків петлі; , , – відповідно повні індуктивність, ємність та опір петлі; – добротність петлі; – власна резонансна частота контуру петлі, який складається з її індуктивності, ємності та опору.

Здійснимо також розрахунок петлі квадрупольної форми аналогічних з прямокутною (попередньою) зовнішніх розмірів. У цьому випадку петля квадрупольної форми із зовнішніми розмірами 1х2 м володітиме площею

та периметром

. Результати обчислень

зведені у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2

Ємність, індуктивність, опір, добротність та власна резонансна частота петлі квадрупольної форми із кількістю витків від 1 до 10

n вит	L мкГн	C нФ	R Ом	Q	f _{рез} кГц
1	11,809	0,361	8,519	1,95	2449,114
2	46,836	0,856	19,246	3,94	794,858
3	105,381	1,202	26,731	6,94	447,238
4	187,344	1,544	34,135	10,43	295,953

5	292,725	1,890	41,623	14,36	214,000
6	421,524	2,239	49,183	18,72	163,833
7	573,740	2,591	56,795	23,52	130,545
8	749,375	2,944	64,444	28,75	107,148
9	948,428	3,299	72,117	34,42	89,973
10	1170,899	3,655	79,807	40,54	76,932

Індуктивність, ємність та опір 50 м з'єднувальних провідників, які прокладені від петлі до блоку електроніки становлять відповідно:

;

;

.

Визначаю параметри системи, яка складається із індуктивної петлі та з'єднувальних провідників. Отримані результати наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Ємність, індуктивність, опір, добротність та резонансна частота системи, яка складається із петель прямокутної і квадрупольної форми із кількістю витків від 1 до 10 та з'єднувальних провідників

n вит	Петля прямокутної форми					Петля квадрупольної форми				
	L мкГн	C нФ	R Ом	Q	f кГц	L мкГн	C нФ	R Ом	Q	f кГц
1	174,641	5,239	18,720	1,51	166,384	175,452	5,329	19,438	1,52	164,589
2	207,335	5,611	28,704	2,16	147,561	210,579	5,825	30,165	2,14	143,705
3	261,824	5,870	35,671	2,49	128,379	269,124	6,170	37,651	2,44	123,505
4	338,109	6,127	42,562	2,60	110,582	351,087	6,512	45,055	2,51	105,254
5	436,190	6,386	49,532	2,57	95,361	456,468	6,858	52,542	2,47	89,951
6	556,067	6,648	56,569	2,47	82,778	585,267	7,208	60,102	2,36	77,490
7	697,740	6,912	63,656	2,35	72,474	737,483	7,559	67,714	2,24	67,406
8	861,208	7,177	70,777	2,23	64,017	913,118	7,913	75,363	2,11	59,209
9	1046,472	7,443	77,923	2,10	57,027	1112,171	8,268	83,036	1,99	52,485
10	1253,532	7,710	85,085	1,96	51,194	1334,642	8,624	90,726	1,87	46,912

Оскільки, для забезпечення стабільної роботи системи та достатньої чутливості петлі, її індуктивність повинна бути більшою за індуктивність з'єднувальних провідників між петлею та блоком електроніки, то при розмірах петлі 1x2 м її

індуктивність повинна бути не менше

.DSMT4

що, згідно даних, наведених у таблицях 3.1 та 3.2 відповідає індуктивності петлі при кількості витків більше трьох. Максимальна добротність системи, яка складається із петлі та з'єднувальних провідників, згідно даних таблиці 3.3, буде при 4 витках.

Крім цього, при кількості витків петлі п'ять і більше робоча частота системи знизиться нижче 100 кГц (див. табл. 3.3). Отже, виходячи із зазначеного, приймаю кількість витків петлі –

Виходячи із наведених даних та аналізу, для забезпечення стабільної роботи системи на робочих частотах 1–100 кГц необхідно, щоб забезпечувались наступні параметри:

Петля повинна бути виконана у виді прямокутника, або квадруполя; мати 4 витки одножильного монолітного провідника марки ПВ1 0,5; мати розміри: ширина

– 2 м та довжина – 1 м;

З'єднувальні провідники між петлею та блоком електроніки повинні мати довжину не більше 50 м.

Вияснимо можливість використання у якості петлі кабелю СБЗПу 4х0,9, який використовується у системах автоматики і телемеханіки. Його параметри [133]:

Діаметр жил – 0,9 мм;

Електричний опір жили на постійному струмі – 28,8 Ом/км;

Робоча ємність жили на частоті 800 Гц – не більше 150 нФ/км;

Кількість жил – 4;

Виконання – жили без скрутки, без екрану;

Зовнішній діаметр кабелю – 12 мм;

Ізоляція жил:

Товщина – 0.45 мм;

Матеріал – поліетилен;

Відносна діелектрична проникність – 1,5 (2,28; 2,3);

Тангенс кута втрат – . (2...8)

Оболонка (зовнішня ізоляція) товщиною 3 мм, виконана із поліетилену.

Результати обчислень петлі, виконаної кабелем СБЗПу 4х0,9 у формі прямокутника зведені у таблицю 3.4.

Таблиця 3.4

Ємність, індуктивність, опір, добротність та власна резонансна частота петлі прямокутної форми із кількістю витків від 1 до 10, виконаної кабелем СБЗПу 4х0,9

n вит	L мкГн	C нФ	R Ом	Q	fрез кГц
1	10,334	0,202	7,134	2,02	3484,111
2	41,336	0,469	16,280	3,97	1143,589
3	93,006	0,663	22,960	6,84	640,781
4	165,344	0,856	29,577	10,14	422,989
5	258,350	1,051	36,259	13,82	305,426
6	372,024	1,247	42,996	17,89	233,622
7	506,366	1,445	49,774	22,33	186,050
8	661,377	1,644	56,580	27,16	152,645
9	837,055	1,843	63,406	32,38	128,143
10	1033,401	2,043	70,247	37,98	109,547

Результати обчислень петлі квадрупольної форми, виконаної кабелем СБЗПу 4х0,9 зведені у таблицю 3.5.

Таблиця 3.5

Ємність, індуктивність, опір, добротність та власна частота петлі квадрупольної форми із кількістю витків від 1 до 10, виконаної кабелем СБЗПу 4х0,9

n вит	L мкГн	C нФ	R Ом	Q	fрез кГц
1	10,826	0,269	7,533	2,01	2947,956
2	43,304	0,625	17,115	4,00	967,607
3	97,435	0,884	24,112	6,91	542,174
4	173,218	1,142	31,045	10,28	357,897

5	270,652	1,401	38,044	14,04	258,425
6	389,740	1,663	45,101	18,21	197,671
7	530,479	1,927	52,201	22,77	157,419
8	692,870	2,192	59,330	27,74	129,155
9	876,914	2,457	66,479	33,12	108,424
10	1082,610	2,723	73,642	38,90	92,689

Параметри системи, яка складається із індуктивної петлі, виконаної кабелем СБЗПу 4х0,9 та з'єднувальних провідників наведені у таблиці 3.6.

Виходячи із отриманих даних можна стверджувати, що у якості петлі виявлення автодорожніх транспортних засобів можливе також використання і кабелю типу СБЗПу 4х0,9, який використовується у господарстві автоматики 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.

Таблиця 3.6

Ємність, індуктивність, опір, добротність та резонансна частота системи, яка складається із петель прямокутної і квадрупольної форми із кількістю витків від 1 до 10, виконаних кабелем СБЗПу 4х0,9 та з'єднувальних провідників

n вит	Петля прямокутної форми					Петля квадрупольної форми				
	L мкГн	C нФ	R Ом	Q	f кГц	L мкГн	C нФ	R Ом	Q	f кГц
1	174,229	3,355	12,655	1,90	208,155	174,721	3,423	13,054	1,90	205,807
2	205,231	3,622	21,801	2,62	184,595	207,199	3,778	22,636	2,59	179,879
3	256,901	3,817	28,481	2,95	160,726	261,329	4,038	29,633	2,89	154,934
4	329,239	4,010	35,098	3,02	138,518	337,112	4,295	36,566	2,94	132,265
5	422,245	4,205	41,780	2,95	119,448	434,547	4,555	43,565	2,86	113,126
6	535,919	4,401	48,517	2,81	103,632	553,634	4,817	50,622	2,73	97,460
7	670,261	4,599	55,295	2,66	90,653	694,373	5,080	57,722	2,57	84,737
8	825,271	4,797	62,101	2,50	79,988	856,765	5,345	64,851	2,41	74,372
9	1000,949	4,996	68,927	2,35	71,168	1040,809	5,611	72,000	2,26	65,861
10	1197,295	5,196	75,768	2,19	63,809	1246,504	5,877	79,163	2,10	58,803

3.3. Висновки до розділу

Виходячи з отриманої математичної моделі первинного індуктивного перетворювача встановлено, що чутливість датчика у виді індуктивної петлі:

- зменшується для петель із площею більшою, аніж площа днища (шасі) транспортного засобу (це свідчить про те, що для збільшення чутливості необхідно, щоб площа петлі була меншою за найменшу площу днища (шасі) автомобіля, який необхідно виявляти);
- зменшується пропорційно до квадрату відстані днища (шасі) транспортного засобу від петлі (для виявлення транспортних засобів із значним дорожнім просвітом необхідно, щоб ширина петлі за розмірами була приблизно така-ж як і ширина автомобіля);
- не залежить від кількості витків петлі;

– обернено пропорційна відносній магнітній проникності ущільнювального матеріалу засипки (якщо засипка гігроскопічна (тобто поглинає і утримує воду) або незаповнена (тобто дає змогу воді проникати між провідниками петлі), чутливість петлі до об'єкту знижується);

– обернено пропорційна коефіцієнту урахування неоднорідності магнітного потоку за межами індуктивної петлі (у дорожньому просвіті, автотранспортному засобі, тощо), тому петлі квадрупольної форми володіють більшою чутливістю.

Для забезпечення максимальної простоти встановлення індуктивного датчика у проїзній частині автодороги необхідно використовувати індуктивні петлі у формі квадрата (прямокутника), або петлі квадрупольної форми, які, у порівнянні з іншими формами петель, менше відчують вплив зовнішніх електромагнітних хвиль на значення індуктивності.

Виходячи з того, що індуктивність лінії передачі збільшує величину індуктивності на вході блоку електроніки, то індуктивність контуру повинна бути більшою, аніж індуктивність лінії передачі.

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

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

З'єднувальні провідники між петлею та блоком електроніки повинні мати довжину не більше 50 м.

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНДУКТИВНИХ ПЕТЕЛЬ

4.1. Схема вимірювань та прилади

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.

Експериментальні вимірювання індуктивності петлі проводилися за схемою, наведеною на рис. 4.1 [29].

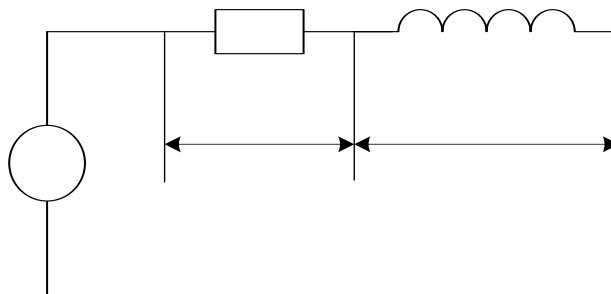


Рисунок 4.1 – Схема проведення вимірювань

Для заданої схеми [134; 135]:

.DSMT4 (STYLEREF 1 \s 4. SEQ Формула *

.DSMT4 (STYLEREF 1 \s 4. SEQ Формула \

де: – падіння напруги на резисторі; – номінал резистора; – падіння напруги на індуктивній петлі; – реактивний опір індуктивної петлі, який рівний:

.DSMT4 ,(STYLEREF 1 \s 4. SEQ Форму

3)

де – частота коливань генератора; – величина індуктивності петлі.

Із рівняння (4.1) отримаємо:

.DSMT4 .(STYLEREF 1 \s 4. SEQ Формула *

Із рівнянь (4.2) та (4.3) отримаємо:

.DSMT4 .(STYLEREF 1 \s 4. SEQ Формула *

Оскільки , то

.DSMT4 .(STYLEREF 1 \s 4. SEQ Форму

)

Звідки і визначимо значення індуктивності петлі:

.DSMT4

(STYLEREF 1 \s 4. SEQ Формула

Вимірювання падінь напруг на активному () та реактивному () елементах кола здійснювалося за допомогою осцилографа ATTEN ADS 1022C, основні технічні характеристики якого наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Основні технічні характеристики цифрового осцилографа ATTEN ADS1022C

Кількість каналів	2
Полоса пропускання	25 МГц
Частота дискретизації	500 Мвб/с
Еквівалентна частота дискретизації	50 Гвб/с
Пам'ять	4000 точок (внутр. пам'ять 4 Кбайт)
Час наростання	<14нс
Вхідний імпеданс	1 МОм; 13pF
Час горизонтальної розгортки	25 нс/поділка - 50 нс/поділка
Екран	Кольоровий TFT (320 × 234) 5.7"
Чутливість по вертикалі	2 мВ/под. - 5 В/под. (1-2-5 Послідовність)
Роздільна здатність по вертикалі	8 біт
Максимальна вхідна напруга	400 В DC, AC
Режими запуску	По фронту, відео, по довжині імпульсу, затримка, зовнішня синхронізація
Режими запуску розгортки	Авто, нормальний, одноразовий
Джерела синхронізації	CH1, CH2, Ext, Ext/5, AC Line
Збереження/Відтворення	До 20 форм сигналів і до 20 профілів установок орг управління. Пам'ять можна під'єднати до роз'єму 1 Вмп, Вмакс, Вмін, Вверх, Внижн, Bavg, Brms, від'єм додатній викиди, частота, період, часи наростання спадання, позитивна та негативна тривалості, позитивний та негативний коефіцієнти заповнення, затримка.
Автоматичні вимірювання	Режими: ручний, слідування, автоматичні вимірювання
Курсорні вимірювання	Додавання, віднімання, множення, перетворення Ф
Математичні функції	Фазова похибка ±3°
Режим ХУ	100-240В, 40 – 440Гц. САТ II.
Напруга живлення	50 Вт Мах
Потужність споживання	305 × 154 × 133
Габарити (Ш × В × Д), мм	2.3 кг
Маса	Підтримка друку на принтери PictBridge; управління
USB	

Для попередніх вимірів значень опору, ємності та індуктивності застосовувався мультиметр VC9805D, основні технічні характеристики і параметри якого наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Основні технічні характеристики цифрового мультиметра VC9805D

Параметр чи функція вимірювання	Значення	Точність
Напруга постійного струму (DC)	200 mV – 1000 V	±(0.5%+3 dgt)
	200 mV – 700 V	±(0.8%+5 dgt)

Напруга змінного струму (АС) (на частотах 40 – 400 Hz)		
Постійний струм (DC)	2 mA – 20 A	$\pm(0.8\%+3 \text{ dgt})$
Змінний струм (АС)	2 mA – 20 A	$\pm(1.0\%+5 \text{ dgt})$
Опір	0.2 Ω – 20 M Ω	$\pm(0.8\%+1 \text{ dgt})$
Ємність	2 nF – 200 μ F	$\pm(2.5\%+3 \text{ dgt})$
Індуктивність (на частоті 10 kHz)	0.02 mH – 20 H	$\pm(2.5\%+3 \text{ dgt})$
Температура	-40 - 1000°C / 0 – 1832°F	$\pm(1.0\%+4 \text{ dgt})$
Частота	2 kHz – 10 MHz	$\pm(3.0\%+15 \text{ dgt})$
Напруга живлення	Батарея 6F22 (9V)	
Максимальне значення на дисплеї	1999	
Маса	340g	
Габаритні розміри	185x88x30mm	

У якості резистора R використовувався магазин опорів вимірювальний із важільним перемикаючим пристроєм шести декадний Р33, параметри якого зазначені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Основні технічні дані та характеристики магазину опорів Р33

Параметр	Значення
Клас точності (за ГОСТ 23737)	
Номинальний опір однієї ступені вищої (найбільшої за значенням) декади	10 000 Ом
Номинальний опір однієї ступені нижчої (найменшої за значенням) декади	0,1 Ом
Номинальна потужність	0,25 Вт
Максимальна потужність	0,5 Вт
Габаритні розміри	260x185x110 мм
Маса не більше	3 кг

У якості генератора коливань вхідної напруги використовувався генератор сигналів низькочастотний ГЗ-109, основні технічні дані якого зазначені у таблиці 4.4

Таблиця 4.4

Основні технічні дані генератора сигналів низькочастотного ГЗ-109

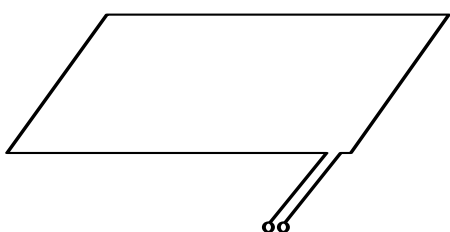
Назва параметра	Значення параметра згідно технічних вимог	
	номінальне	допустиме
1. Похибка встановлення частоти, Гц	20	19,1 – 20,9
Діапазон I (x1)	70	68,1 – 71,9
	100	97,5 – 102,5
	160	156,3 – 163,7
	200	195,5 – 204,5
	200	197,5 – 202,5
Діапазон II (x10)	700	693 – 707
	1000	990 – 1010
	1600	1584 – 1616
	1600	1584 – 1616

	2000	1980 – 2020
Діапазон III (x100)	2000	1980 – 2020
	7000	6930 – 7070
	10000	9900 – 10100
	16000	15840 – 16160
	20000	19800 – 20200
Діапазон IV (x1000)	20000	19600 – 20400
	70000	68600 – 71400
	100000	98000 – 102000
	200000	196000 – 204000
2. Похибка встановлення опорного значення вихідної напруги, В	15	14,4 – 15,6
	9	8,4 – 9,6
	3	2,4 – 3,6
3. Похибка послаблення атенюаторів: вбудованого, В «15 В»	9,0000	9,000
- // - «5 В»	2,8500	2,7000 – 3,0000
- // - «1,5 В»	0,9000	0,8500 – 0,9500
- // - «500 mV»	0,2850	0,2700 – 0,3000
- // - «150 mV»	0,0900	0,0850 – 0,0950
- // - «50 mV»	0,0285	0,0270 – 0,0300
- // - «15 mV»	0,0090	0,0085 – 0,0095
зовнішнього 40 дБ	0,0900	0,0850 – 0,0950
4. Коефіцієнт гармонік, %:		
– на гнізді «1», на частотах 20 Гц	1,0	Не більше
- // - на частотах 200 Гц (II)	0,5	Не більше
- // - на частотах 1000 Гц	0,5	Не більше
- // - на частотах 20 кГц (III)	0,5	Не більше
- // - на частотах 200 кГц	1,0	Не більше
– на клеммах «2»	2,0	Не більше
5. Нерівномірність рівня вихідної напруги на частотах 20 Гц – 200 кГц, В:		
– на гнізді «1»	15	14,25 – 15,75
– на клеммах «2» навантаження 5 Ом	4,5	3,82 – 15,18
- // - навантаження 50 Ом	15,0	13,50 – 16,50
- // - навантаження 600 Ом	50,0	45,00 – 55,00
- // - навантаження 5000 Ом	142,0	106,50 – 177,50

4.2. Експериментальне визначення індуктивності петлі за відсутності та наявності автомобіля у її межах

У якості індуктивної петлі було використано 4 витки провідника марки ПВ1 0,5, укладених у формі прямокутника із розмірами 1х2 м. (рис. 4.2, а).

Периметр петлі – 6 м.; Довжина провідника – 24 м.



a)

b)

Рисунок 4.2 – Форми укладання петлі у процесі проведення експерименту

Для вимірювання значень індуктивності петлі за наявності автомобіля у її межах використовувався автомобіль Volkswagen Golf2 1986 року випуску. Крім цього аналогічні вимірювання проводились із автомобілем Renault Megane 2005 року випуску та Chevrolet Aveo 2003 року випуску. Результати вимірювань для усіх автомобілів цього класу співпадають із розбіжністю, яка менше 0,5%, тому надалі наводяться дані тільки для автомобіля Volkswagen Golf2.

Вимірювання параметрів індуктивної петлі за наявності автомобіля у її межах здійснювалося при повному знаходженні автомобіля над нею, тобто у момент мінімального значення індуктивності петлі.

У таблиці 4.5 наведено виміряні значення напруги на опорі та індуктивній петлі за схемою (див. рис. 4.1), визначені значення реактивного опору, індуктивності петлі, її зміни між значеннями за відсутності та наявності автомобіля, а також чутливості при номіналі послідовно увімкненого опору 6 Ом на різних робочих частотах у межах від 2 до 120 кГц. За результатами цих вимірювань, з метою наглядної візуалізації отриманих значень, побудовано графіки залежності індуктивності петлі від несучої частоти генератора (Рис. 4.3). Графіки залежності зміни індуктивності петлі між значеннями за відсутності та наявності автомобіля, а також чутливості у цьому випадку наведені на рис. 4.4 [29].

Таблиця 4.5

Визначення індуктивності та її зміни для петлі прямокутної форми 1х2 м із послідовно увімкненим опором 6 Ом

Частота а Гц	Ом	Без автомобіля				Із автомобілем				мкГн	
		В	В	Ом	мкГн	В	В	Ом	мкГн		
2000	6	0,52	0,22	2,538	202,00	0,44	0,20	2,727	217,03	15,03	7,44%
2500	6	0,52	0,24	2,769	176,29	0,44	0,21	2,864	182,30	6,01	3,41%
3000	6	0,52	0,26	3,000	159,15	0,44	0,23	3,068	162,77	3,62	2,27%
4000	6	0,52	0,32	3,692	146,91	0,44	0,26	3,545	141,07	5,84	3,98%
5000	6	0,52	0,36	4,154	132,22	0,44	0,30	4,091	130,22	2,00	1,52%
7500	6	0,52	0,52	6,000	127,32	0,44	0,39	5,318	112,86	14,47	11,36%
10000	6	0,52	0,68	7,846	124,88	0,44	0,50	6,818	108,51	16,36	13,10%
20000	6	0,52	1,36	15,692	124,88	0,44	0,98	13,364	106,34	18,53	14,84%
25000	6	0,50	1,60	19,200	122,23	0,40	1,11	16,650	106,00	16,23	13,28%
30000	6	0,48	1,84	23,000	122,02	0,38	1,29	20,368	108,06	13,96	11,44%
40000	6	0,46	2,32	30,261	120,40	0,34	1,58	27,882	110,94	9,46	7,86%
50000	6	0,42	2,64	37,714	120,05	0,30	1,77	35,400	112,68	7,37	6,14%
60000	6	0,40	2,96	44,400	117,77	0,27	1,85	41,111	109,05	8,72	7,41%
70000	6	0,38	3,20	50,526	114,88	0,24	1,89	47,250	107,43	7,45	6,48%
80000	6	0,36	3,36	56,000	111,41	0,23	1,99	51,913	103,28	8,13	7,30%
90000	6	0,34	3,68	64,941	114,84	0,21	2,09	59,714	105,60	9,24	8,05%
100000	6	0,32	3,76	70,500	112,20	0,20	2,16	64,800	103,13	9,07	8,09%
120000	6	0,28	4,00	85,714	113,68	0,17	2,28	80,471	106,73	6,95	6,12%

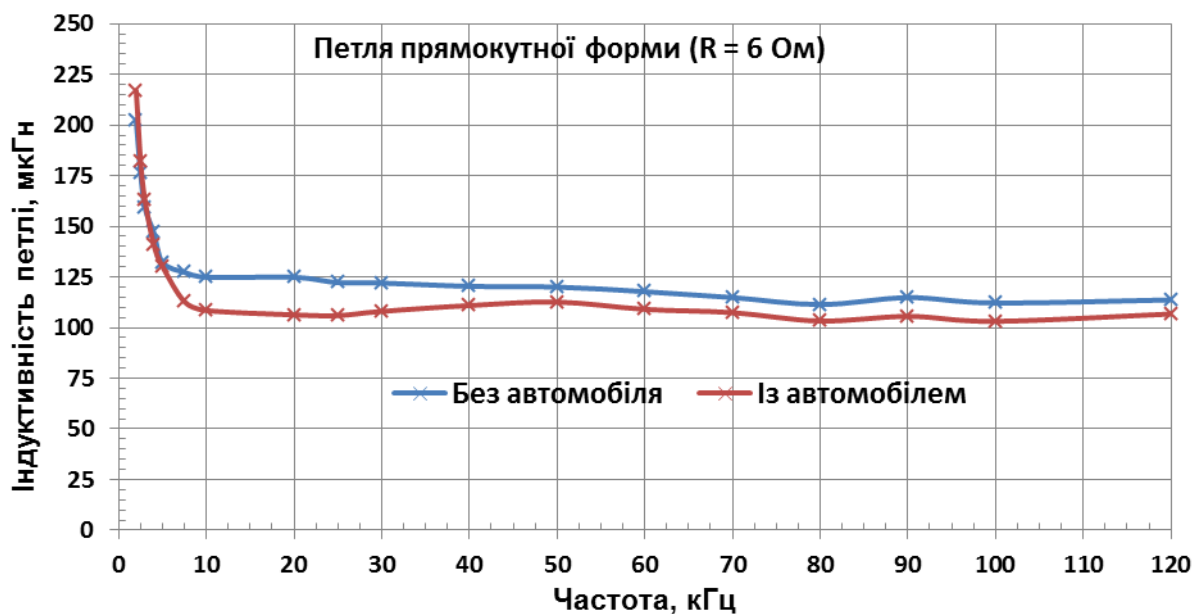


Рисунок 4.3 – Індуктивність петлі прямокутної форми 1x2 м із послідовно увімкненим опором 6 Ом за наявності та відсутності автомобіля у межах її периметру на різних робочих частотах

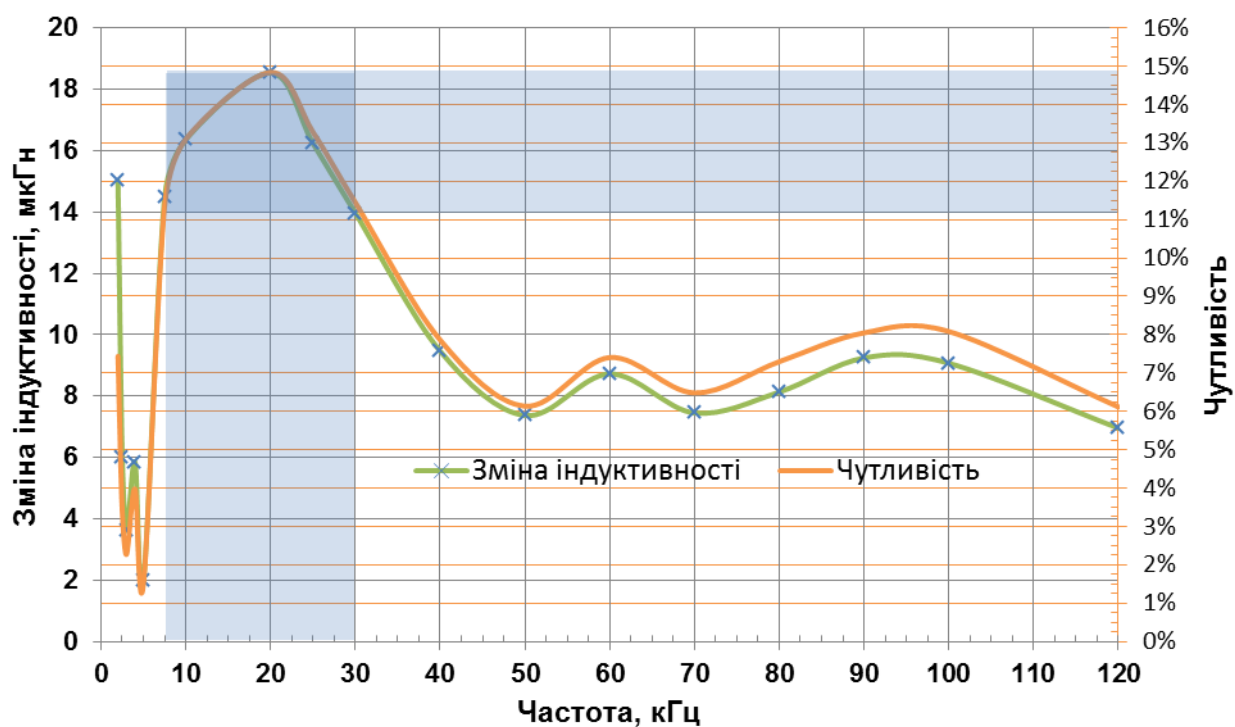


Рисунок 4.4 – Зміна індуктивності та чутливість петлі прямокутної форми 1x2 м із послідовно увімкненим опором 6 Ом за наявності та відсутності автомобіля у межах її периметру на різних робочих частотах

Аналіз даних наведених у таблиці 4.5, та на рис. 4.3, 4.4 свідчить про те, що для петлі прямокутної форми 1x2 м із послідовно увімкненим опором 6 Ом:

- на частотах 2 – 7,5 кГц індуктивність петлі знаходиться у межах 202 – 127,32 мкГн, однак чутливість – менше 11%;
- на частотах 7,5 – 30 кГц індуктивність петлі знаходиться у межах 127,32 – 122,02 мкГн, її чутливість – більше 11% (максимальна – 14,84% на частоті 20 кГц);

– на частотах 30 – 120 кГц індуктивність петлі знаходиться у межах 122,02 – 113,68 мкГн, її чутливість – менше 11% із подальшою тенденцією до зниження.

Для зменшення впливу внутрішнього активного опору провідників петлі було збільшено номінал послідовно увімкненого з нею резистора до 30 Ом.

Виміряні значення напруги на опорі та індуктивній петлі, визначені значення реактивного опору, індуктивності петлі, величина зміни її індуктивності між значеннями за відсутності та наявності автомобіля, а також чутливості при номіналі послідовно увімкненого опору 30 Ом на різних робочих частотах у межах від 2 до 120 кГц наведені у таблиці 4.6. Графіки залежності індуктивності у цьому випадку наведені на рис. 4.5, а графіки залежності зміни індуктивності та її чутливості у цьому випадку наведені на рис. 4.6.

Таблиця 4.6

Визначення індуктивності та її зміни для петлі прямокутної форми 1х2 м із послідовно увімкненим опором 30 Ом

Частота Гц	Ом	Без автомобіля				Із автомобілем				мкГн	
		В	В	Ом	мкГн	В	В	Ом	мкГн		
2000	30	1,48	0,14	2,838	225,83	1,52	0,14	2,763	219,89	5,94	2,63%
2500	30	1,48	0,14	2,838	180,66	1,52	0,14	2,763	175,91	4,75	2,63%
3000	30	1,48	0,16	3,243	172,06	1,52	0,16	3,158	167,53	4,53	2,63%
4000	30	1,48	0,18	3,649	145,18	1,52	0,18	3,553	141,35	3,82	2,63%
5000	30	1,48	0,22	4,459	141,95	1,52	0,21	4,145	131,93	10,02	7,06%
7500	30	1,48	0,30	6,081	129,04	1,48	0,27	5,372	113,99	15,06	11,67%
10000	30	1,48	0,40	8,108	129,04	1,48	0,35	7,095	112,91	16,13	12,50%
20000	30	1,44	0,76	15,833	126,00	1,48	0,67	13,581	108,07	17,92	14,22%
25000	30	1,44	0,92	19,167	122,02	1,44	0,79	16,458	104,78	17,24	14,13%
30000	30	1,40	1,04	22,286	118,23	1,44	0,93	19,375	102,79	15,44	13,06%
40000	30	1,36	1,24	27,353	108,83	1,40	1,14	24,429	97,20	11,64	10,69%
50000	30	1,28	1,42	33,281	105,94	1,32	1,31	29,773	94,77	11,17	10,54%
60000	30	1,24	1,58	38,226	101,40	1,28	1,46	34,219	90,77	10,63	10,48%
70000	30	1,16	1,72	44,483	101,14	1,20	1,60	40,000	90,95	10,19	10,08%
80000	30	1,12	1,86	49,821	99,12	1,20	1,80	45,000	89,52	9,59	9,68%
90000	30	1,08	1,96	54,444	96,28	1,12	1,84	49,286	87,16	9,12	9,48%
100000	30	1,04	2,00	57,692	91,82	1,08	1,89	52,500	83,56	8,26	9,00%
120000	30	1,00	2,12	63,600	84,35	0,96	1,96	61,250	81,24	3,12	3,69%

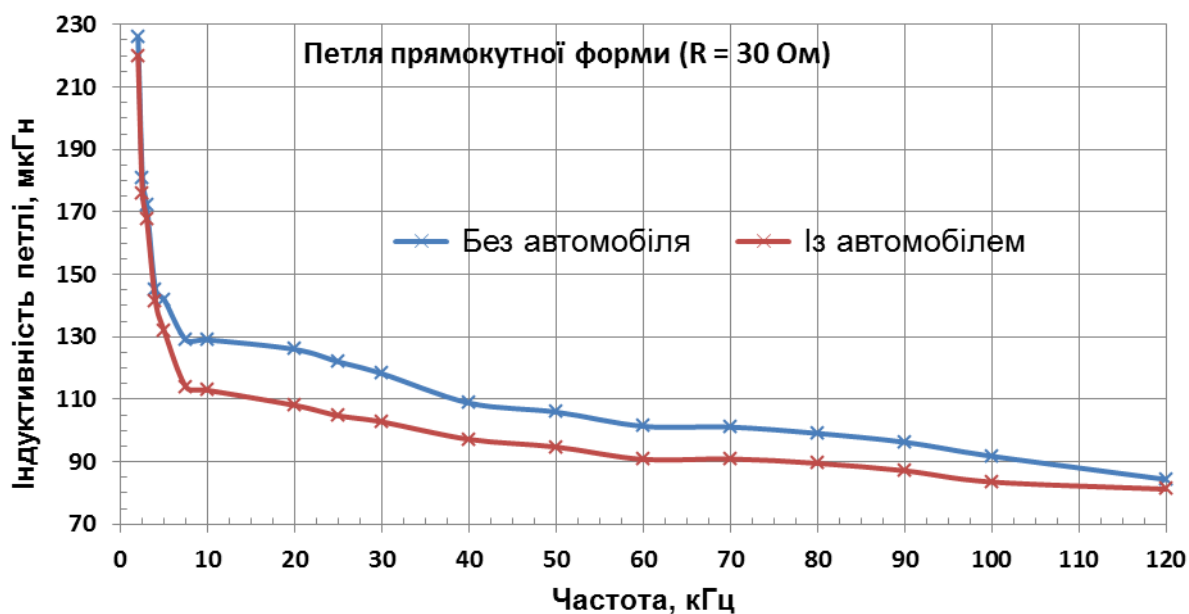


Рисунок 4.5 – Індуктивність петлі прямокутної форми 1x2 м із послідовно увімкненим опором 30 Ом за наявності та відсутності автомобіля у межах її периметру на різних робочих частотах

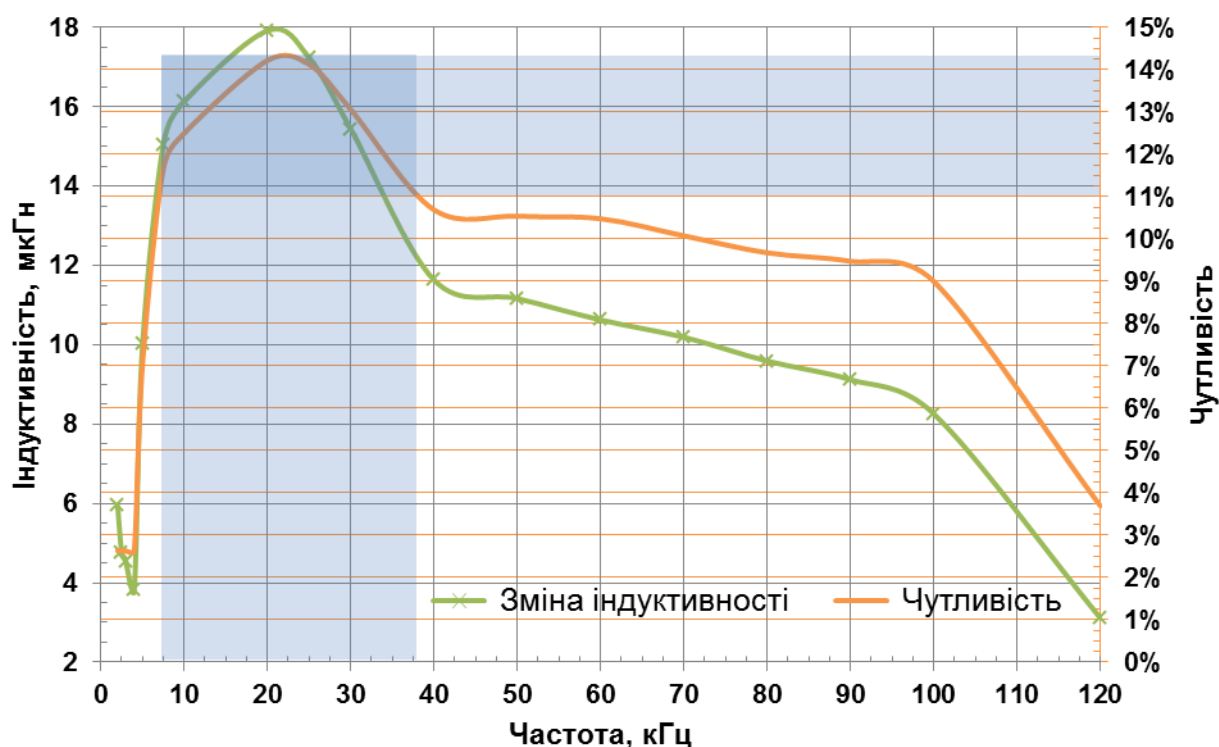


Рисунок 4.6 – Зміна індуктивності та чутливості петлі прямокутної форми 1x2 м із послідовно увімкненим опором 30 Ом за наявності та відсутності автомобіля у межах її периметру на різних робочих частотах

Аналіз даних наведених у таблиці 4.6, та на рис. 4.5, 4.6 свідчить про те, що для петлі прямокутної форми 1x2 м із послідовно увімкненим опором 30 Ом:

- на частотах 2 – 7,5 кГц індуктивність петлі знаходиться у межах 225,83 – 129,04 мГн, однак чутливість – менше 11%;

- на частотах 7,5 – 30 кГц індуктивність петлі знаходиться у межах 129,04 – 118,23 мкГн, її чутливість – більше 11% (максимальна – 14,22% на частоті 20 кГц);
- на частотах 30 – 80 кГц індуктивність петлі знаходиться у межах 118,23 – 99,12 мкГн, її чутливість – менше 11% із подальшою тенденцією до зниження;
- на частотах 80 – 120 кГц індуктивність петлі знаходиться у межах 99,12 – 84,35 мкГн, тобто менше 100 мкГн із подальшим зниженням чутливості нижче 9%, що спричинене впливом скін-ефекту у провіднику петлі.

Для зменшення впливу на індуктивність петлі зовнішніх електромагнітних випромінювань було використано форму петлі у виді квадруполя. У цьому випадку периметр петлі залишається таким самим, як і у попередніх випадках (6 м), а довжина петлі становить 8 м, довжина провідників – 32 м. (див. рис. 4.2, *b*).

Виміряні значення напруги на опорі та індуктивній петлі квадрупольної форми, визначені значення реактивного опору, індуктивності петлі, величину зміни її індуктивності між значеннями за відсутності та наявності автомобіля, а також чутливості при номіналі послідовно увімкненого опору 30 Ом на різних робочих частотах у межах від 2 до 120 кГц. наведені у таблиці 4.7. Графіки залежності індуктивності у цьому випадку наведені на рис. 4.7, а графіки залежності зміни індуктивності та її чутливості у цьому випадку наведені на рис. 4.8.

Таблиця 4.7

Визначення індуктивності та її зміни для петлі квадрупольної форми 1х2 м із послідовно увімкненим опором 30 Ом

Частота, Гц	Ом	Без автомобіля				Із автомобілем				Зміна індуктивності, мкГн	Чутливість, %
		В, В	В, В	Ом	мкГн	В, В	В, В	Ом	мкГн		
2000	30	1,48	0,16	3,243	258,09	1,48	0,14	2,838	225,83	32,26	12,50%
2500	30	1,48	0,18	3,649	232,28	1,48	0,16	3,243	206,47	25,81	11,11%
3000	30	1,48	0,20	4,054	215,07	1,48	0,18	3,649	193,57	21,51	10,00%
4000	30	1,48	0,24	4,865	193,57	1,48	0,22	4,459	177,44	16,13	8,33%
5000	30	1,48	0,28	5,676	180,66	1,48	0,26	5,270	167,76	12,90	7,14%
6000	30	1,48	0,30	6,081	161,31	1,48	0,27	5,473	145,18	16,13	10,00%
7000	30	1,48	0,36	7,297	165,91	1,48	0,32	6,486	147,48	18,43	11,11%
7500	30	1,48	0,40	8,108	172,06	1,48	0,35	7,095	150,55	21,51	12,50%
8000	30	1,48	0,43	8,716	173,40	1,48	0,36	7,297	145,18	28,23	16,28%
9000	30	1,47	0,49	10,000	176,84	1,48	0,40	8,108	143,38	33,46	18,92%
10000	30	1,44	0,54	11,250	179,05	1,48	0,44	8,919	141,95	37,10	20,72%

20000	30	1,40	1,08	23,143	184,17	1,44	0,87	18, 125	144, 23	39,93	21,68%
25000	30	1,37	1,30	28,467	181,23	1,40	1,05	22, 500	143, 24	37,99	20,96%
30000	30	1,34	1,41	31,567	167,47	1,39	1,24	26, 763	141, 98	25,49	15,22%
40000	30	1,28	1,70	39,844	158,53	1,32	1,56	35, 455	141, 07	17,46	11,02%
50000	30	1,20	1,96	49,000	155,97	1,24	1,84	44, 516	141, 70	14,27	9,15%
60000	30	1,12	2,16	57,857	153,47	1,18	2,08	52, 881	140, 27	13,20	8,60%
70000	30	1,08	2,32	64,444	146,52	1,13	2,19	58, 142	132, 19	14,33	9,78%
80000	30	1,00	2,44	73,200	145,63	1,08	2,36	65, 556	130, 42	15,21	10,44%
90000	30	0,96	2,56	80,000	141,47	1,03	2,45	71, 359	126, 19	15,28	10,80%
100000	30	0,88	2,64	90,000	143,24	0,96	2,58	80, 625	128, 32	14,92	10,42%
120000	30	0,80	2,80	105, 000	139,26	0,88	2,76	94, 091	124, 79	14,47	10,39%

Аналіз даних наведених у таблиці 4.6, та на рис. 4.5, 4.6 свідчить про те, що для петлі квадрупольної форми 1x2 м із послідовно увімкненим опором 30 Ом:

- на частотах 2 – 7 кГц індуктивність петлі знаходиться у межах 258,09 – 165,91 мкГн, однак чутливість – менше 11%;
- на частотах 7 – 40 кГц індуктивність петлі знаходиться у межах 165,91 – 158,53 мкГн, її чутливість – більше 11% (максимальна – 21,68% на частоті 20 кГц);
- на частотах 40 – 80 кГц індуктивність петлі знаходиться у межах 158,53 – 145,63 мкГн, її чутливість – менше 11% і сягає мінімуму в 8,6 % при 60 кГц;
- на частотах 80 – 120 кГц індуктивність петлі знаходиться у межах 145,63 – 139,26 мкГн із подальшою тенденцією до зниження чутливості, що спричинене впливом скін-ефекту у провіднику петлі.

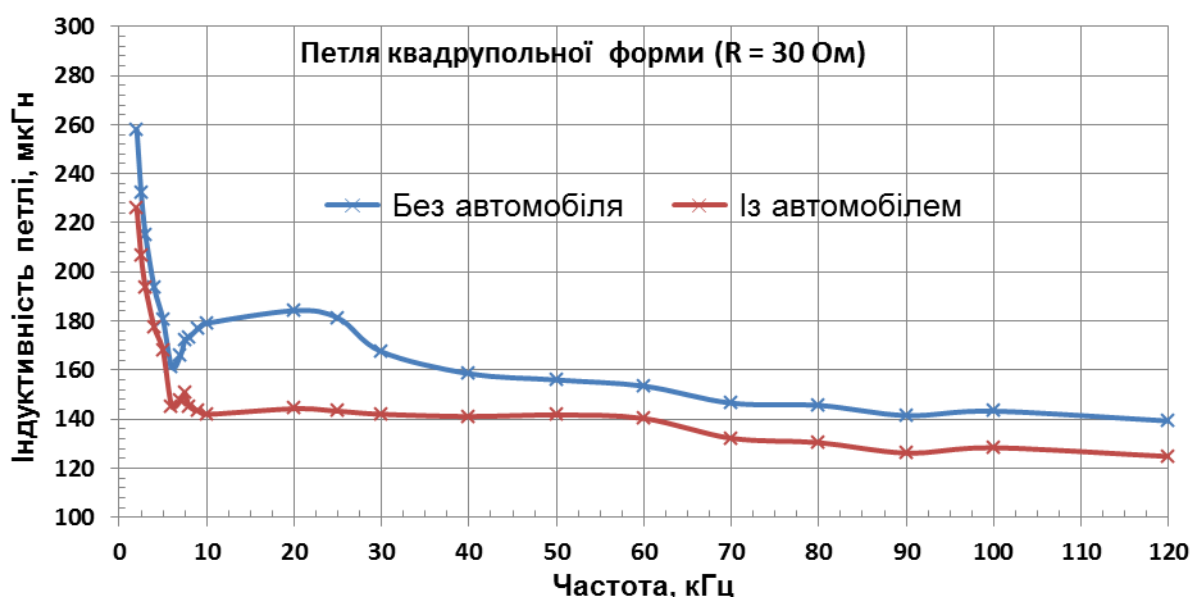


Рисунок 4.7 – Індуктивність петлі квадрупольної форми 1x2 м із послідовно увімкненим опором 30 Ом за наявності та відсутності автомобіля у межах її периметру на різних робочих частотах

Отже, виходячи із проведеного аналізу результатів експериментальних вимірювань можна стверджувати, що:

- найбільша чутливість усіх петель до наявності автомобіля на частотах у межах від 7,5 до 30 кГц ($> 11\%$) (максимум – на частоті 20 кГц);
- чутливість петель квадрупольної форми більша за чутливість петель у формі прямокутника;
- чутливість петель на частотах понад 80 кГц знижується, що спричинене впливом скін-ефекту у провіднику петлі;
- для точнішого визначення величини індуктивності петлі необхідно вмикати послідовно із нею опір із номіналом у межах від 20 до 40 Ом.

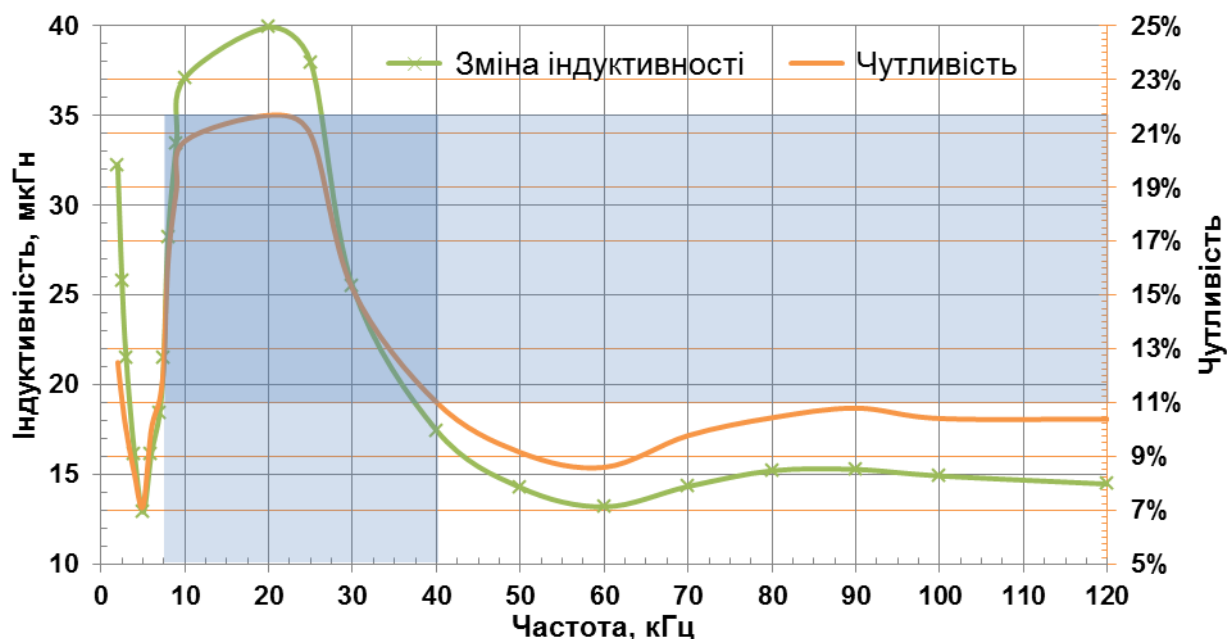


Рисунок 4.8 – Зміна індуктивності та чутливості петлі квадрупольної форми 1x2 м із послідовно увімкненим опором 30 Ом за наявності та відсутності автомобіля у

межах її периметру на різних робочих частотах

4.3. Експериментальне визначення зміни індуктивності по мірі наїзду автотранспортного засобу на петлю та покинення ним меж петлі

Також було проведено експерименти, у процесі яких здійснювалися вимірювання значення індуктивності петлі по мірі наїзду авто на петлю та покинення ним меж петлі. Оскільки, згідно висновків до п. 4.2, чутливість петель квадрупольної форми більша за чутливість петель у формі прямокутника для проведення цих експериментів було обрано петлю квадрупольної форми з розмірами 1х2 м. Експеримент проводився із автодорожніми транспортними засобами різних типів, габаритні параметри яких наведені у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8

Габарити, колісна база та кліренс автодорожніх транспортних засобів, які приймали участь у експерименті

Автотранспортний засіб	Параметр, мм				
	Довжина	Ширина	Висота	Колісна база	Кліренс
Легковий автомобіль Volkswagen Golf II	3 985	1 665	1 415	2 475	225
Вантажний автомобіль «ЗИЛ 130», бортовий	6 675	2 500	2 400	3 800	220
Вантажний автомобіль «КРАЗ-65053» (Автокран КТА-32)	8 800	2 500	2 870	4 880+1 400	290
Автобус міський Богдан А-092.02	7 430	2 380	2 850	3 815	300
Бронетранспортер БТР-4 «Буцефал»	7 760	2 932	2 860		475

При проведенні цих експериментів визначення величини індуктивності петлі здійснювалося аналогічно, як і у п. 4.2. Вимірювання проводилися за схемою, яка наведена на рис. 4.1. У процесі проведення експериментів здійснювався наїзд автомобілем на петлю із кроками, які пропорційні довжині автомобіля і знімалося 25, 31, або 33 точки, залежно від довжини автотранспортного засобу. На кожному кроці вимірювалися значення падіння напруг на активному (активний опір із номіналом 30 Ом) та реактивному (індуктивна петля) елементах кола на частоті максимальної її чутливості (20 кГц). При наїзді на індуктивну петлю легковим автомобілем Volkswagen Golf II отримано результати, які зведені до таблиці 4.9. Для наглядного відображення результатів побудовано графіки залежності індуктивності від положення легкового автомобіля відносно петлі (рис. 4.9) [29].

Таблиця 4.9

Визначення індуктивності петлі залежно від положення автомобіля Volkswagen Golf II відносно її осі

№ точки	, Ом	, В	, В	, Ом	, мкГн	, мкГн
1	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
2	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
3	30	1,38	1,06	23,092	183,76	0,41
4	30	1,37	1,04	22,748	181,02	3,15
5	30	1,38	1,02	22,088	175,77	8,40
6	30	1,40	1,00	21,457	170,75	13,42
7	30	1,41	0,98	20,854	165,95	18,22
8	30	1,42	0,96	20,232	161,00	23,17
9	30	1,44	0,94	19,592	155,91	28,26

10	30	1,46	0,92	19,014	151,31	32,86
11	30	1,47	0,90	18,513	147,32	36,85
12	30	1,46	0,89	18,186	144,72	39,45
13	30	1,44	0,87	18,124	144,23	39,94
14	30	1,46	0,89	18,186	144,72	39,45
15	30	1,47	0,90	18,513	147,32	36,85
16	30	1,46	0,92	19,014	151,31	32,86
17	30	1,44	0,94	19,592	155,91	28,26
18	30	1,42	0,96	20,232	161,00	23,17
19	30	1,41	0,98	20,854	165,95	18,22
20	30	1,40	1,00	21,457	170,75	13,42
21	30	1,38	1,02	22,088	175,77	8,40
22	30	1,37	1,04	22,748	181,02	3,15
23	30	1,38	1,06	23,092	183,76	0,41
24	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
25	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00

При проведенні експерименту початковим положенням зазначеного автомобіля відносно найближчого краю петлі була відстань 0,5 м передньої частини його проекції на площину дороги, що відповідало точці №1. Подальші точки №2 – № 25 встановлювалися з інтервалом 0,25 м у напрямі руху автомобіля.

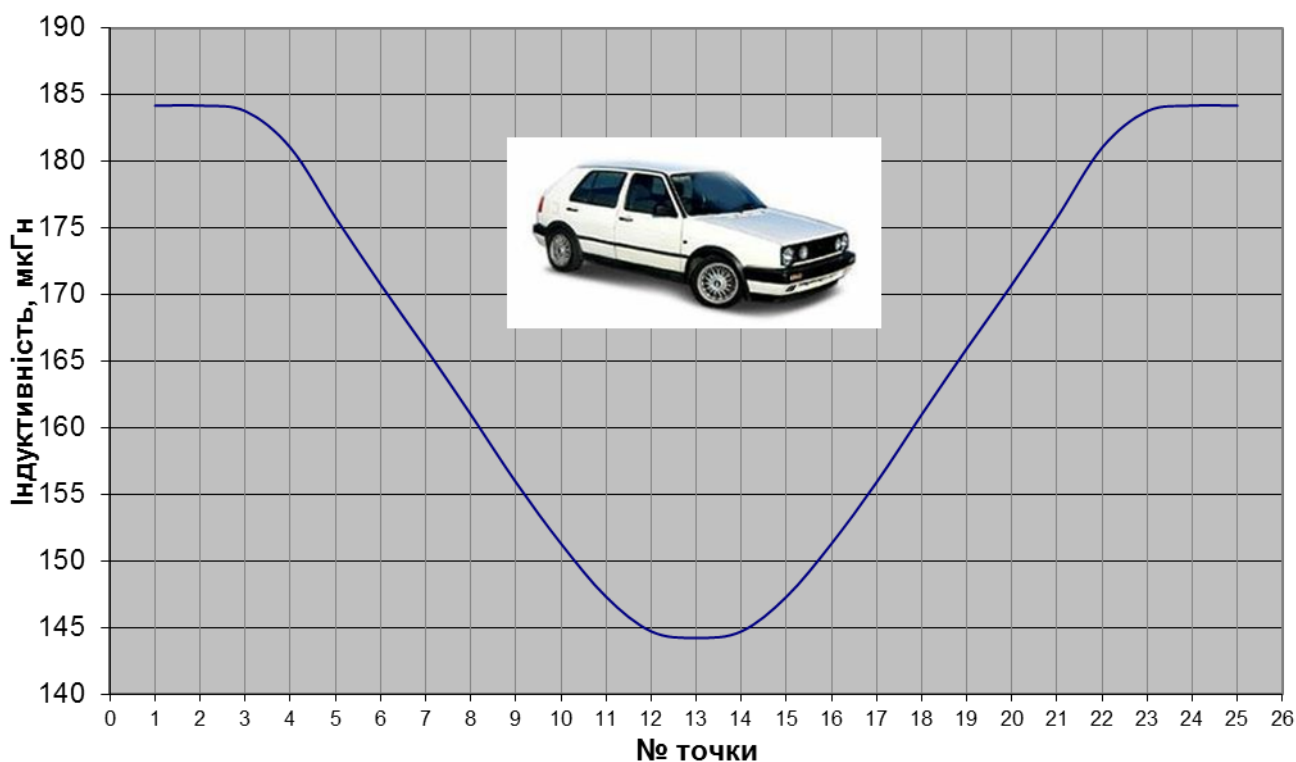


Рисунок 4.9 – Зміна індуктивності петлі залежно від положення автомобіля Volkswagen Golf II відносно її осі

Аналіз даних, отриманих при проведенні експерименту (див. табл. 4.9 та рис. 4.9) показує, що: максимальне значення індуктивності петлі у точках №№ 1, 2, 24, 25 становить 184,17 мкГн, що відповідає значенню індуктивності за відсутності автотранспорту в межах петлі; мінімальне значення індуктивності петлі у точці №13 становить 144,23 мкГн, що відповідає значенню індуктивності у момент часу, коли

поперечна вісь авто співпадає із поперечною віссю петлі; максимальна різниця індуктивності становить , що відповідає чутливості 21,68%.

У таблиці 4.10 наведено виміряні значення напруги на опорі та індуктивній петлі, визначені значення реактивного опору та індуктивності петлі при наїзді на неї автомобілем ЗИЛ-130. Графіки залежності індуктивності петлі від положення автомобіля ЗИЛ-130 відносно неї наведені на рис. 4.10.

Таблиця 4.10

Визначення індуктивності петлі залежно від положення автомобіля ЗИЛ-130 відносно її осі

№ точки	, Ом	В ,	, В	, Ом	, мкГн	мкГн ,
1	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
2	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
3	30	1,37	1,06	23,092	183,76	0,41
4	30	1,36	1,03	22,748	181,02	3,15
5	30	1,37	1,01	22,088	175,77	8,40
6	30	1,38	0,99	21,457	170,75	13,42
7	30	1,39	0,97	20,854	165,95	18,22
8	30	1,41	0,95	20,232	161,00	23,17
9	30	1,42	0,93	19,592	155,91	28,26
10	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
11	30	1,44	0,89	18,513	147,32	36,85
12	30	1,17	0,73	18,824	149,80	34,37
13	30	1,44	0,89	18,513	147,32	36,85
14	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
15	30	1,42	0,93	19,592	155,91	28,26
16	30	1,22	0,80	19,592	155,91	28,26
17	30	1,42	0,93	19,592	155,91	28,26
18	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
19	30	1,44	0,89	18,513	147,32	36,85
20	30	1,44	0,87	18,124	144,23	39,94
21	30	1,44	0,89	18,513	147,32	36,85
22	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
23	30	1,42	0,93	19,592	155,91	28,26
24	30	1,41	0,95	20,232	161,00	23,17
25	30	1,39	0,97	20,854	165,95	18,22
26	30	1,38	0,99	21,457	170,75	13,42
27	30	1,37	1,01	22,088	175,77	8,40
28	30	1,36	1,03	22,748	181,02	3,15
29	30	1,37	1,06	23,092	183,76	0,41
30	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
31	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00

Аналіз даних, отриманих при проведенні експерименту (див. табл. 4.10 та рис. 4.10) показує, що: максимальне значення індуктивності петлі у точках №№ 1, 2, 30, 31 становить 184,17 мкГн, що відповідає значенню індуктивності за відсутності автотранспорту в межах петлі; мінімальне значення індуктивності петлі у точці №20 становить 144,23 мкГн, що відповідає значенню індуктивності у момент часу, коли

задня вісь авто співпадає із поперечною віссю петлі; у точках № 13 та № 11 фіксується значення індуктивності 147,32 мкГн, що відповідає значенням індуктивності між моментами часу, коли над петлею знаходиться передня частина авто; усі значення індуктивності між точками №9 та №23 не перевищують 155, 91 мкГн, що відповідає наявності авто в межах петлі; різниця індуктивності між значенням у точці №1 та значенням у точках №9 та №23 становить

, що відповідає чутливості 15,35%.

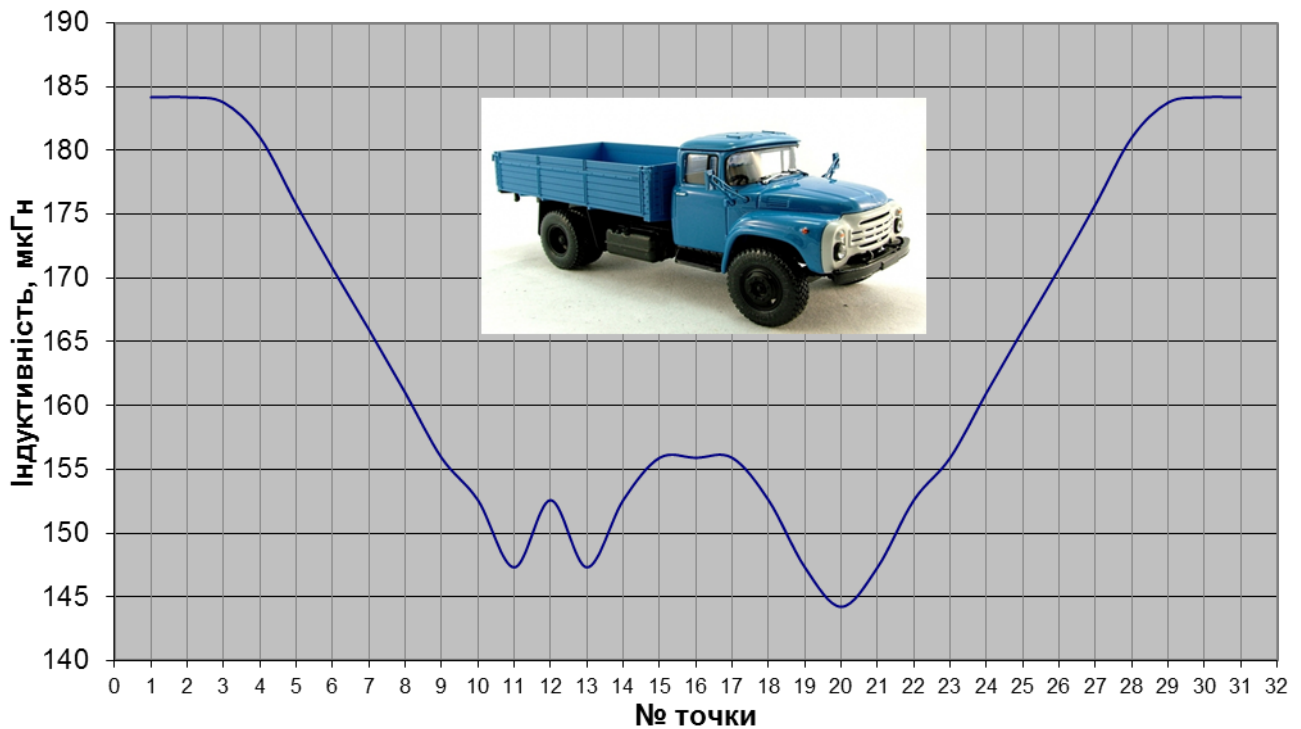


Рисунок 4.10 – Зміна індуктивності петлі залежно від положення автомобіля ЗИЛ-130 відносно її осі

У таблиці 4.11 наведено виміряні значення напруги на опорі та індуктивній петлі, визначені значення реактивного опору та індуктивності петлі при наїзді на неї автокраном КТА-32 на базі шасі КРАЗ-65053. Графіки залежності індуктивності петлі від положення автокрану КТА-32 відносно неї наведені на рис. 4.11.

Аналіз даних, отриманих при проведенні експерименту (див. табл. 4.11 та рис. 4.11) показує, що: максимальне значення індуктивності петлі у точках №№ 1, 2, 32, 33 становить 184,17 мкГн, що відповідає значенню індуктивності за відсутності автотранспорту в межах петлі; мінімальне значення індуктивності петлі у точках №№ 11, 12, 13, 22, 23 становить 145,69 мкГн, що відповідає значенням індуктивності у момент часу, коли задні осі авто співпадають із поперечною віссю петлі (точки №№ 22, 23) та значенням індуктивності між моментами часу, коли над петлею знаходиться передня частина авто (точки №№ 11 – 13); усі значення індуктивності між точками №9 та №25 не перевищують 157,36 мкГн, що відповідає наявності авто в межах петлі; різниця індуктивності між значенням у точці №1 та значенням у точках №9 та №25 становить , що відповідає чутливості 14,56%.

Таблиця 4.11

Визначення індуктивності петлі залежно від положення
автокрана КТА-32 на базі шасі КРАЗ-65053 відносно її осі

№ точки	, Ом	В	, В	, Ом	, мкГн	, мкГн
1	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
2	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
3	30	1,37	1,06	23,092	183,76	0,41
4	30	1,36	1,03	22,748	181,02	3,15
5	30	1,37	1,01	22,088	175,77	8,40
6	30	1,38	0,99	21,457	170,75	13,42
7	30	1,39	0,97	20,854	165,95	18,22
8	30	1,40	0,95	20,368	162,08	22,09
9	30	1,41	0,93	19,774	157,36	26,81
10	30	1,44	0,91	18,968	150,94	33,23
11	30	1,46	0,89	18,308	145,69	38,48
12	30	1,46	0,89	18,308	145,69	38,48
13	30	1,43	0,87	18,308	145,69	38,48
14	30	1,44	0,91	18,968	150,94	33,23
15	30	1,41	0,93	19,774	157,36	26,81
16	30	1,39	0,97	19,774	157,36	26,81
17	30	1,40	0,95	19,774	157,36	26,81
18	30	1,40	0,95	19,774	157,36	26,81
19	30	1,41	0,93	19,774	157,36	26,81
20	30	1,41	0,93	19,774	157,36	26,81
21	30	1,44	0,91	18,968	150,94	33,23
22	30	1,43	0,87	18,308	145,69	38,48
23	30	1,43	0,87	18,308	145,69	38,48
24	30	1,44	0,91	18,968	150,94	33,23
25	30	1,41	0,93	19,774	157,36	26,81
26	30	1,40	0,95	20,368	162,08	22,09
27	30	1,39	0,97	20,854	165,95	18,22
28	30	1,38	0,99	21,457	170,75	13,42
29	30	1,37	1,01	22,088	175,77	8,40
30	30	1,36	1,03	22,748	181,02	3,15
31	30	1,37	1,06	23,092	183,76	0,41
32	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
33	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00

У таблиці 4.11 наведено виміряні значення напруги на опори та індуктивній петлі, визначені значення реактивного опору та індуктивності петлі при наїзді на неї міським автобусом Богдан А-092.02. Графіки залежності індуктивності петлі від положення міського автобуса Богдан А-092.02 відносно неї наведені на рис. 4.12.

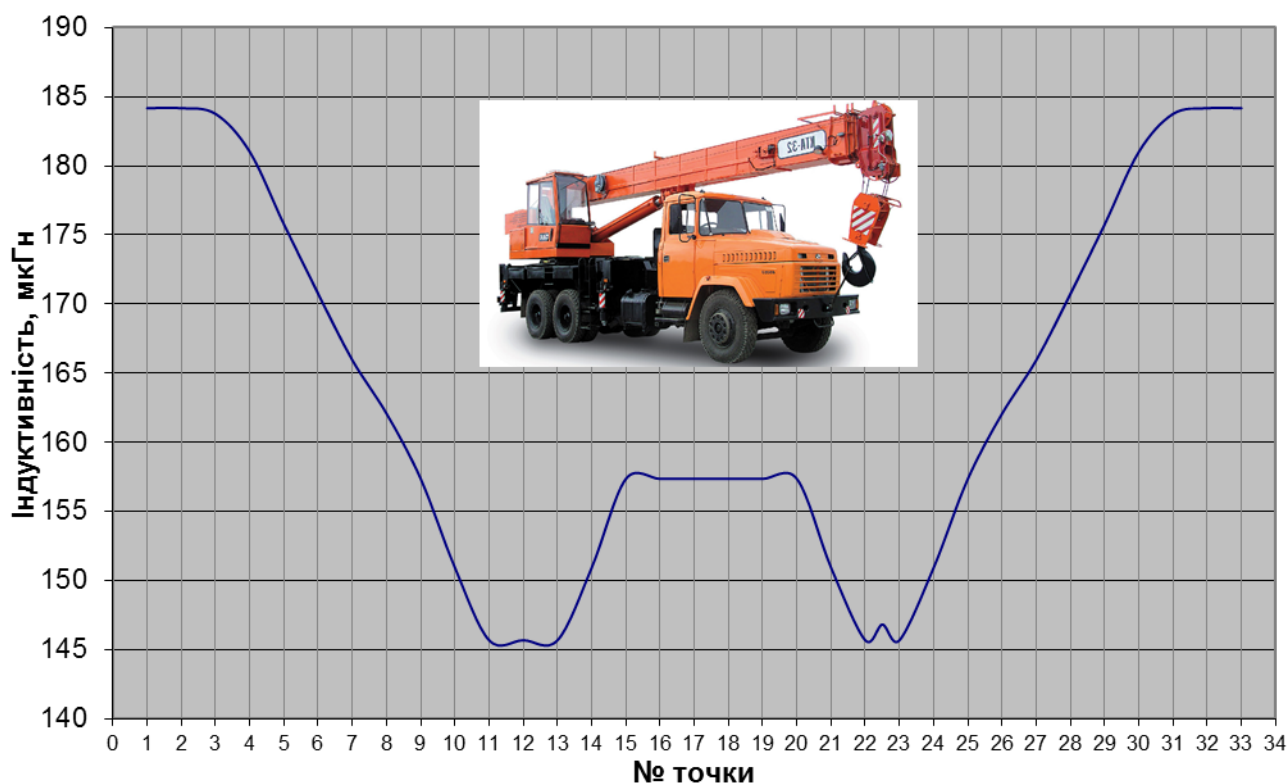


Рисунок 4.11 – Зміна індуктивності петлі залежно від положення автокрана КТА-32 на базі шасі КРАЗ-65053 відносно її осі

Аналіз даних, отриманих при проведенні експерименту (див. табл. 4.12 та рис. 4.12) показує, що: максимальне значення індуктивності петлі у точках №№ 1, 2, 32, 33 становить 184,17 мкГн, що відповідає значенню індуктивності за відсутності автобуса в межах петлі; мінімальне значення індуктивності петлі у точці №12 становить 144,23 мкГн, що відповідає значенню індуктивності у момент часу, коли передня вісь автобуса співпадає із поперечною віссю петлі; у точці № 23 фіксується значення індуктивності 147,32 мкГн, що відповідає значенню індуктивності у момент часу, коли над петлею знаходиться задня частина автобуса; усі значення індуктивності між точками №9 та №25 не перевищують 155,91 мкГн, що відповідає наявності авто в межах петлі; різниця індуктивності між значенням у точці №1 та значенням у точках №9 та №25 становить , що відповідає чутливості 15,34%.

Таблиця 4.12

Визначення індуктивності петлі залежно від положення автобуса Богдан А-092.02 відносно її осі

№ точки	, Ом	В	, В	, Ом	, мкГн	, мкГн
1	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
2	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
3	30	1,37	1,06	23,092	183,76	0,41
4	30	1,36	1,03	22,748	181,02	3,15
5	30	1,37	1,01	22,088	175,77	8,40
6	30	1,38	0,99	21,457	170,75	13,42
7	30	1,39	0,97	20,854	165,95	18,22

8	30	1,41	0,95	20,232	161,00	23,17
9	30	1,42	0,93	19,592	155,91	28,26
10	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
11	30	1,44	0,89	18,513	147,32	36,85
12	30	1,44	0,87	18,124	144,23	39,94
13	30	1,44	0,89	18,513	147,32	36,85
14	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
15	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
16	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
17	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
18	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
19	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
20	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
21	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
22	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
23	30	1,44	0,89	18,513	147,32	36,85
24	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
25	30	1,42	0,93	19,592	155,91	28,26
26	30	1,41	0,95	20,232	161,00	23,17
27	30	1,39	0,97	20,854	165,95	18,22
28	30	1,38	0,99	21,457	170,75	13,42
29	30	1,37	1,01	22,088	175,77	8,40
30	30	1,36	1,03	22,748	181,02	3,15
31	30	1,37	1,06	23,092	183,76	0,41
32	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
33	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00

У таблиці 4.13 наведено виміряні значення напруги на опорі та індуктивній петлі, визначені значення реактивного опору та індуктивності петлі при наїзді на неї бронетранспортером БТР-4 «Буцефал». Графіки залежності індуктивності петлі від положення бронетранспортеру відносно неї наведені на рис. 4.13.

Аналіз даних, отриманих при проведенні експерименту (див. табл. 4.13 та рис. 4.13) показує, що: максимальне значення індуктивності петлі у точках №№ 1, 2, 32, 33 становить 184,17 мкГн, що відповідає значенню індуктивності за відсутності бронетранспортера в межах петлі; мінімальне значення індуктивності петлі у точці №12 становить 144,23 мкГн, що відповідає значенню індуктивності у момент часу, коли передня частина бронетранспортера знаходиться в межах петлі; у точці № 23 фіксується значення індуктивності 147,32 мкГн, що відповідає значенню індуктивності у момент часу, коли над петлею знаходиться задня частина бронетранспортера; усі значення індуктивності між точками №10 та №24 не перевищують 152,59 мкГн, що відповідає наявності авто в межах петлі; різниця індуктивності між значенням у точці №1 та значенням у точках №9 та №25 становить , що відповідає чутливості 17,15%.

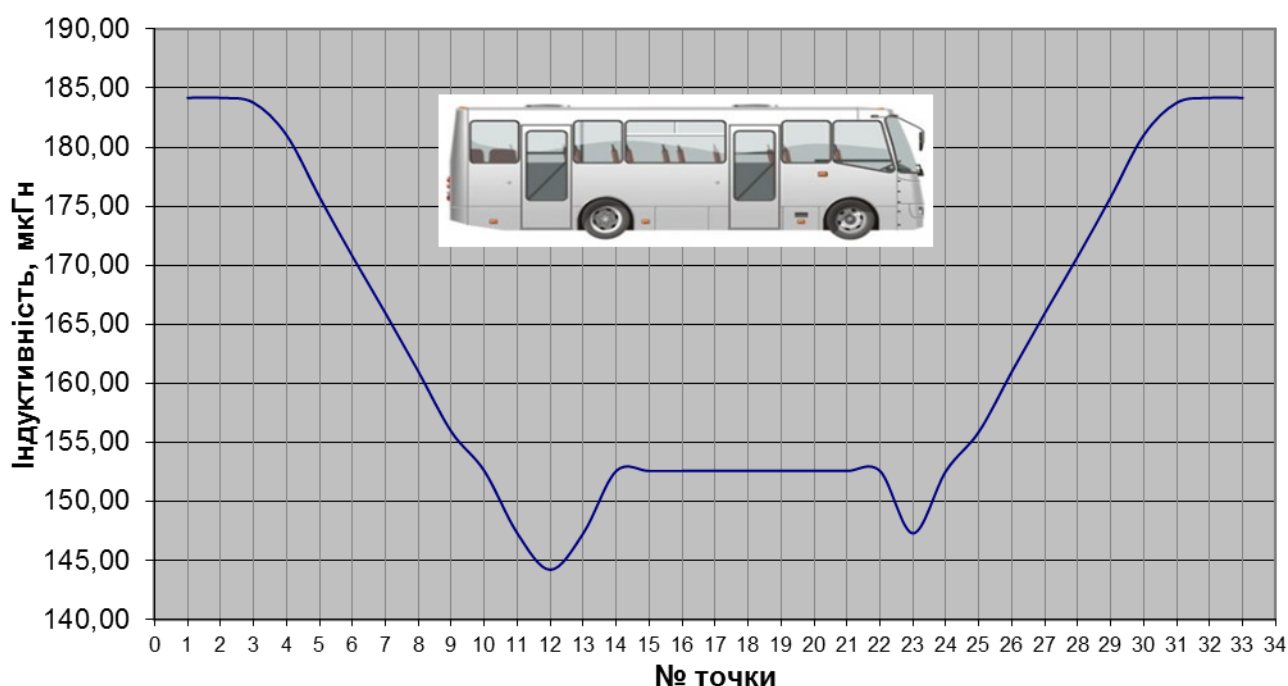


Рисунок 4.12 – Зміна індуктивності петлі залежно від положення автобуса Богдан А-092.02 відносно її осі

За результатами проведених експериментів та аналізу таблиць 4.9 – 4.13 та рисунків 4.9 – 4.13 можна зробити 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 усі із зазначених автодорожніх транспортних засобів виявлялися петлею і налаштування блоку електроніки можна встановити на межі 160 мкГн, при досягненні якої фіксуватиметься проходження транспортного засобу.

Таблиця 4.13

Визначення індуктивності петлі залежно від положення БТР-4 «Буцефал» відносно її осі

№ точки	, Ом	В ,	, В	, Ом	, мкГн	мкГн ,
1	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
2	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
3	30	1,37	1,06	23,092	183,76	0,41
4	30	1,36	1,03	22,748	181,02	3,15
5	30	1,37	1,01	22,088	175,77	8,40
6	30	1,38	0,99	21,457	170,75	13,42
7	30	1,39	0,97	20,854	165,95	18,22
8	30	1,41	0,95	20,232	161,00	23,17
9	30	1,42	0,93	19,592	155,91	28,26
10	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
11	30	1,44	0,89	18,513	147,32	36,85
12	30	1,44	0,87	18,124	144,23	39,94
13	30	1,44	0,89	18,513	147,32	36,85
14	30	1,42	0,91	18,513	147,32	36,85
15	30	1,42	0,91	18,513	147,32	36,85

16	30	1,42	0,91	18,513	147,32	36,85
17	30	1,42	0,91	18,513	147,32	36,85
18	30	1,42	0,91	18,513	147,32	36,85
19	30	1,42	0,91	18,513	147,32	36,85
20	30	1,42	0,91	18,513	147,32	36,85
21	30	1,42	0,91	18,513	147,32	36,85
22	30	1,42	0,91	18,513	147,32	36,85
23	30	1,44	0,89	18,513	147,32	36,85
24	30	1,42	0,91	19,175	152,59	31,58
25	30	1,42	0,93	19,592	155,91	28,26
26	30	1,41	0,95	20,232	161,00	23,17
27	30	1,39	0,97	20,854	165,95	18,22
28	30	1,38	0,99	21,457	170,75	13,42
29	30	1,37	1,01	22,088	175,77	8,40
30	30	1,36	1,03	22,748	181,02	3,15
31	30	1,37	1,06	23,092	183,76	0,41
32	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00
33	30	1,40	1,08	23,143	184,17	0,00

4.4. Висновки до розділу

У результаті проведених досліджень вимірювання індуктивностей петель прямокутної та квадрупольної форми та визначення їх чутливості можна стверджувати, що:

- 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 90 кГц різко знижується;
- для точнішого визначення величини індуктивності петлі необхідно вмикати послідовно із нею опір із номіналом у межах від 10 до 50 Ом.

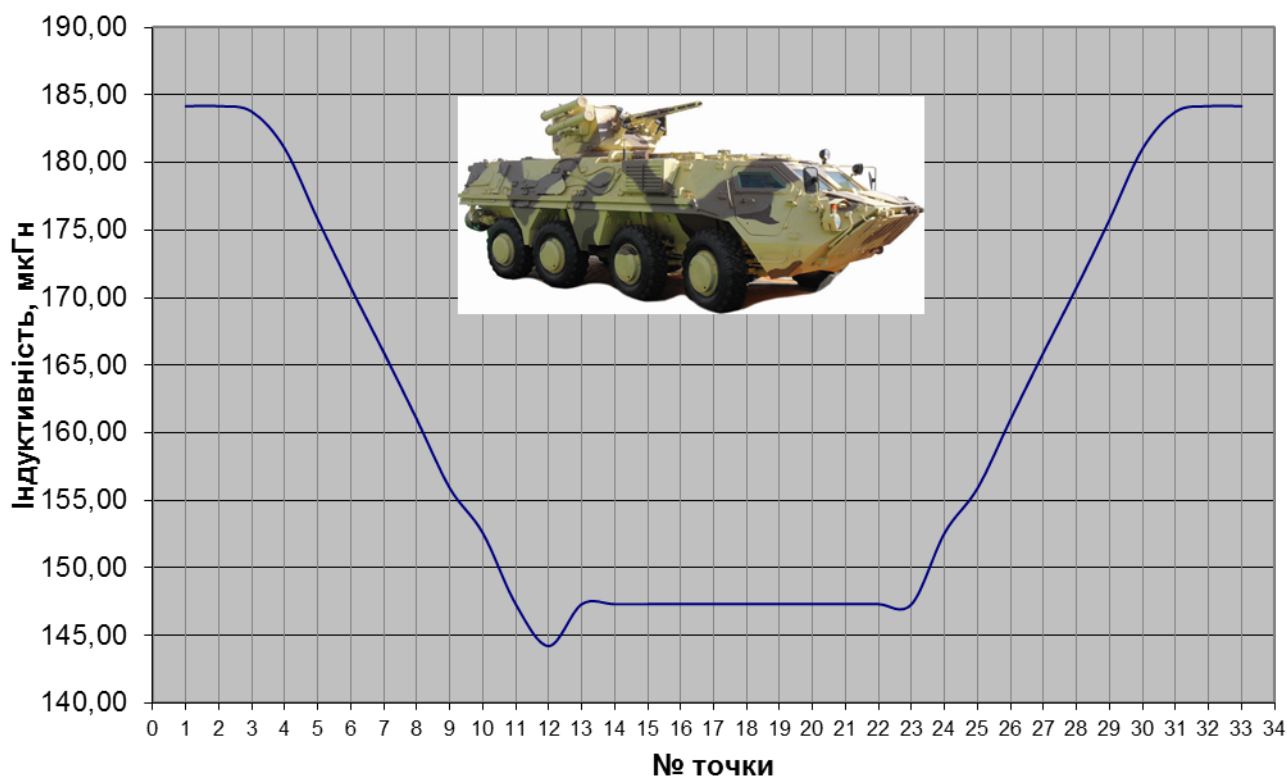


Рисунок 4.13 – Зміна індуктивності петлі залежно від положення бронетранспортера БТР-4 «Буцефал» відносно її осі

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 усі із зазначених автодорожніх транспортних засобів виявлялися петлею і налаштування блоку електроніки можна встановити на межі 160 мкГн, при досягненні якої фіксуватиметься проходження транспортного засобу.

РОЗДІЛ 5.

КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДАХ ШЛЯХОМ КОНТРОЛЮ ЗА РЕЙКОВИМИ ТА АВТОДОРОЖНІМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ

5.1. Структура комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах

Функціональна схема комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах складається із наступних підсистем (рис. 5.1) [27; 80; 81]:

- 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 до залізничного переїзду.

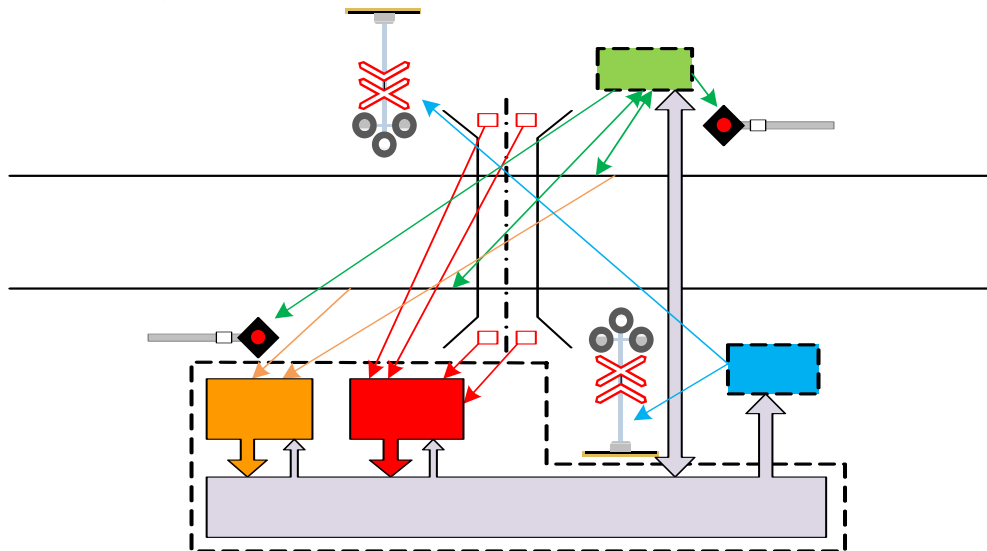


Рисунок 5.1 – Функціональна схема комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах

Робота системи базується на вимірюванні значень напруг і струмів на початку рейкової лінії вимірювальної ділянки у визначені моменти часу підсистемою ПВНС, контролю за наявністю 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 підсистем ПВНС та ПКНАЗ.

Оскільки підсистема проведення обчислень та управління автоматичною переїзною сигналізацією і роботою сигнальної установки ділянки наближення до залізничного переїзду повинна реалізовувати виконання математичних операцій з визначення вхідного імпедансу, координати, швидкості та прискорення поїзда, пам'ятати усі дані та проміжні результати, здійснювати управління іншими підсистемами, вона повинна бути виконана на базі мікропроцесора.

Однак, при побудові такої системи на базі мікропроцесорного пристрою проблему становить організація узгодження мікроелектронної апаратури з датчиками первинної інформації – рейковою лінією та індуктивними датчиками контролю за автодорожніми транспортними засобами. Для цього необхідно забезпечити часове та енергетичне узгодження, мінімальну допустиму ймовірність виникнення хибного сигналу, мінімальну чутливість до електромагнітних завад і впливів, стабільність параметрів. Схемні рішення пристроїв узгодження не повинні мати небезпечних відмов [89; 136].

Даний мікропроцесорний пристрій, із урахуванням особливих умов функціонування та експлуатації повинен забезпечувати [110; 137–140]:

- високу надійність та безпеку;
- прискорену реакцію на поїзний шунт;
- відносну незалежність та живучість;
- єдність технічної бази;
- спрощення контролю та само діагностування;
- простоту узгодження;

– можливість введення в експлуатацію частинами, а також повинен задовольняти вимогам щодо гнучкості, надійності, живучості та економічності.

Гнучкість пристрою характеризується здатністю до модернізації, оскільки в процесі експлуатації параметри об'єкту управління можуть змінюватися.

Поняття «живучість» більш ширше, аніж поняття «надійність», яке пов'язується із збереженням працездатності пристрою не тільки в нормальних умовах експлуатації, а й при зовнішніх аварійних впливах.

Технічна реалізація пристрою повинна задовольняти вимогам, які висуваються до виконавчих схем пристроїв СЦБ, тобто пошкодження окремих приладів чи з'єднувальних провідників схеми не повинні спричиняти небезпечних для руху поїздів та автодорожнього транспорту станів. Крім цього, необхідно враховувати можливість одночасної появи двох пошкоджень, якщо одне з них не контролюється та не проявляється в нормальній роботі.

У даній системі, з метою запобігання подібним випадкам, необхідно забезпечити самодіагностування підсистем. Крім цього, враховуючи, що пристрій працюватиме сумісно із існуючими системами АПС і доповнюватиме їх роботу, то, у випадку негативного результату самодіагностування, необхідно забезпечити невтручання в роботу існуючої АПС та передачу інформації про пошкодження системою диспетчерського контролю на найближчу станцію.

5.1.1. Алгоритм роботи підсистеми проведення обчислень та управління автоматичною переїзною сигналізацією і роботою сигнальної установки ділянки наближення до залізничного переїзду

Основою комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах є підсистема проведення обчислень та управління автоматичною переїзною сигналізацією і роботою сигнальної установки ділянки наближення до залізничного переїзду. Алгоритм її роботи (рис. 5.2) наступний:

Робота системи 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, а на найближчу станцію засобами системи диспетчерського контролю передається інформація про несправність комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах.

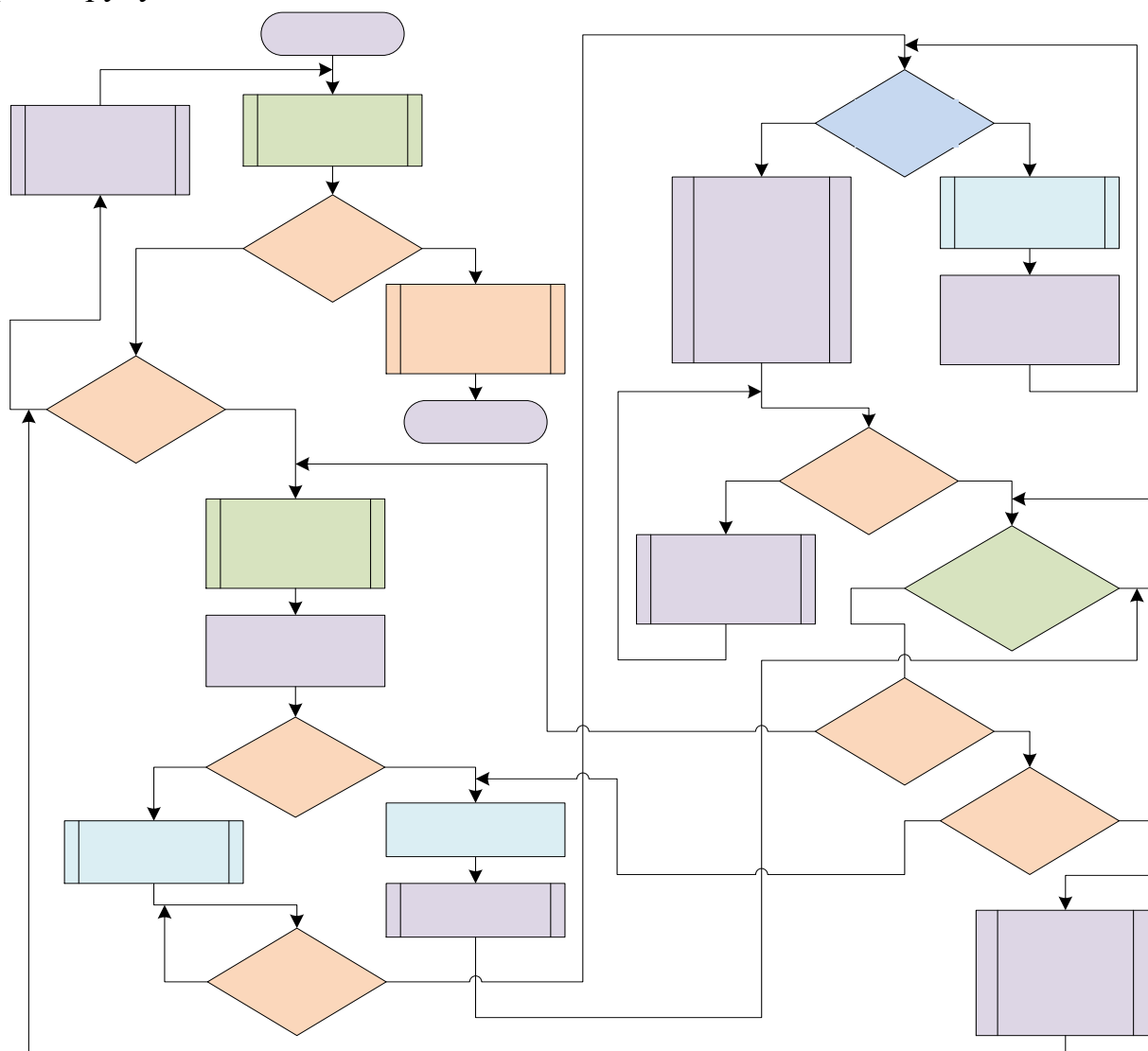


Рисунок 5.2 – Алгоритм роботи підсистеми проведення обчислень та управління автоматичною переїзною сигналізацією і роботою сигнальної установки

Далі відбувається порівняння реальної (визначеної) швидкості 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 робота 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, алгоритм роботи якої наведений на рис. 5.3. Якщо автотранспорт відсутній, очікуємо звільнення поїздом меж залізничного переїзду шляхом постійної перевірки цього факту і, коли поїзд звільнить межі переїзду, після перевірки відсутності поїзда на вимірювальній ділянці та ділянці наближення до залізничного переїзду вимикаємо табло, а АПС завершує свою роботу у штатному режимі. Після цього відбувається перехід на початок виконання 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 до залізничного переїзду, 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 додаткових табло, на яких відображується напрям руху поїзда, який наближається до залізничного переїзду, та часу, що залишився до спрацювання переїздної 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 через залізничний переїзд.

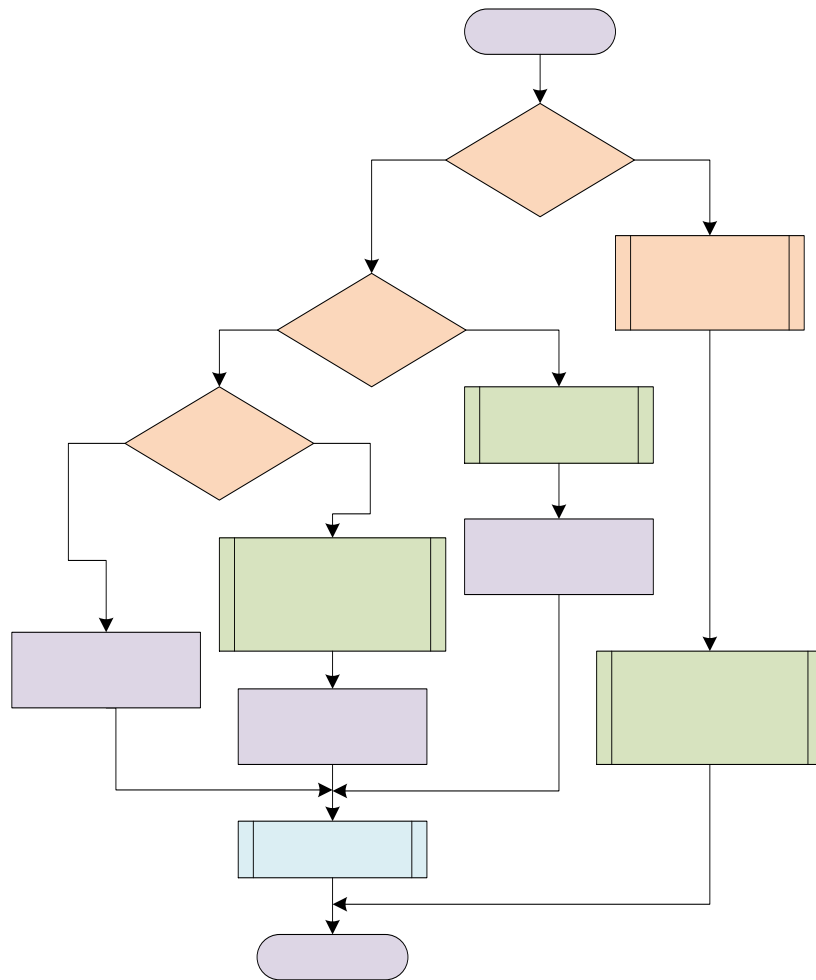


Рисунок 5.3 – Алгоритм роботи підпрограми управління роботою сигнальної установки

5.1.2. Опис роботи підпрограм підсистеми проведення обчислень та управління автоматичною переїзною сигналізацією і роботою сигнальної установки

Робота підпрограми управління роботою сигнальної установки (див. рис. 5.3) полягає у наступному:

Спочатку здійснюється перевірка кількості проходів підпрограми, якщо це другий прохід, 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 прохід перший, то необхідно зменшити значність кодів, які транслюються в рейкове коло ділянки наближення до залізничного переїзду.

Робота підпрограми визначення вторинних параметрів здійснюється відповідно до положень, висвітлених у п. 2.6 за алгоритмом, який наведений на рис.5.4, підпрограми визначення координати, швидкості та прискорення – у п.п. 2.2 та 2.5, а підпрограми визначення часу затримки на спрацювання АПС – у п. 2.1.

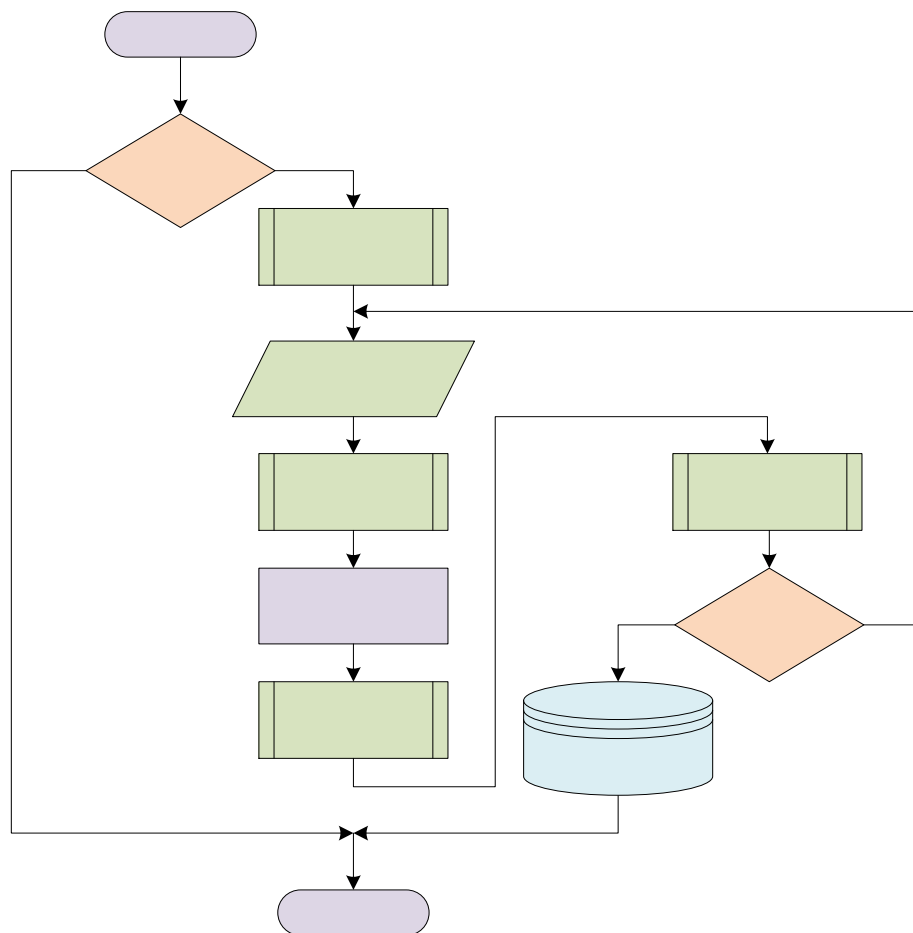


Рисунок 5.4 – Алгоритм роботи підпрограми визначення вторинних параметрів рейкової лінії

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 межі залізничного переїзду. При входженні автотранспортного засобу здійснюється збільшення значення лічильника наявності засобів у межах переїзду на одиницю, при виході – зменшення на одиницю. Якщо лічильник має значення «0», то автодорожній транспорт відсутній у межах контролю датчиків. Вмикання вихідних датчиків здійснюється із затримкою, з метою уникнення відліку тих засобів, які вже вступили в межі переїзду, але не були обліковані на вході. Ще одним із способів є здійснення неперервного контролю за автодорожніми транспортними засобами незалежно від стану ділянки наближення. У цьому випадку не буде потрібно ускладнювати систему і уводити затримки, а також досягається можливість відліку кількості транспортних засобів, які перетинають даний залізничний переїзд, що потрібно при визначенні категорії переїзду.

5.2. Макети комплексної системи

З метою ілюстрації роботи комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах шляхом контролю за рейковими та автодорожніми транспортними засобами у середовищі розробки для візуальної мови програмування

компанії National Instruments LabVIEW 2012 [106; 107] були виконані візуальні макети, які ілюструють роботу системи при різних ситуаціях у межах залізничного переїзду, на вимірювальній ділянці та ділянці наближення до переїзду. На рис. 5.5 наведений випадок, коли поїзд вступив у межі вимірювальної ділянки.

Рисунок 5.5 – Макет роботи системи, при вступі поїзда на вимірювальну ділянку

Із рисунка видно, що поїзд рухається із швидкістю 65,52 км/год, із прискоренням 0,04 м/с². У рейкове коло ділянки наближення до залізничного переїзду транслюється код зеленого вогню. Визначений час затримки на спрацювання АПС становить 19 сек. Залізничний переїзд на даний момент часу відкритий для руху автотранспорту, на табло відображається напрям руху поїзда, рішень стосовно зниження швидкості поїзда чи інших рішень приймати не потрібно.

На рис. 5.6 наведений випадок, коли поїзд вступив у межі ділянки наближення до залізничного переїзду. У цьому випадку, необхідно відобразити час затримки на спрацювання АПС на табло з його відліком у сторону зменшення, продовжуючи відображати напрям руху поїзда.

Рисунок 5.6 – Макет роботи системи у момент вступу поїзда на ділянку наближення до залізничного переїзду

Після завершення відліку часу на спрацювання АПС (рис. 5.7) необхідно вимкнути відображення відліку часу на табло, з метою закриття руху запустити роботу АПС, увімкнути контроль зони переїзду на наявність у його межах автотранспортних засобів.

Рисунок 5.7 – Макет роботи системи у момент завершення відліку часу затримки на спрацювання автоматичної переїздної сигналізації

Якщо на закритому залізничному переїзді відсутні автодорожні транспортні засоби (рис. 5.8), то переїзд залишається у закритому стані до тих пір, поки поїзд не звільнить межі залізничного переїзду.

Рисунок 5.8 – Макет роботи системи у випадку закритого стану переїзду та відсутності автодорожніх транспортних засобів у його межах

Якщо на закритому переїзді знаходяться автодорожні транспортні засоби, необхідно проаналізувати коди, які транслюються у рейкове коло ділянки наближення і , з метою збільшення часу наближення поїзда до переїзду, забезпечити трансляцію у рейкове коло ділянки наближення кодів нижчої значності. При наявному коді «3» у рейковій лінії (рис. 5.9) необхідно забезпечити трансляцію коду «Ж».

Залізничний переїзд закритий, наявний автотранспорт			
Блок-ділянка наближення Розрахункова швидкість 100 км/год Час закритого стану 40 сек. Розрахункова довжина ділянки наближення 1111 м		Поїзд Швидкість V1 65,52 км/год Швидкість V2 66,24 км/год Прискорення 0,04 м/с ²	
Вимірювальна блок-ділянка Відстань 1 91 м Відстань 2 92 м Час вимірювання 5 сек. 5 сек.		Переїзд Час затримки 19 сек. Координата закриття переїзду 760 м Шлях до координати закриття 351 м	
Наявний код в рейковій лінії 3		Напрямок руху поїзда ← →	
Стан залізничного переїзду Залізничний переїзд Закритий Зона переїзду Зайнята автотранспортом			
Рішення			
Для поїзда		Надсилати код Ж	
Для табло		Продовжувати відображати напрям руху поїзда	
Для переїзду		Відсутні	

Рисунок 5.9 – Макет роботи системи у випадку закритого стану переїзду, наявності автодорожніх транспортних засобів у його межах і трансляції у РЛ коду «З»

У випадку, якщо автодорожній транспортний засіб і надалі залишається у межах залізничного переїзду (рис. 5.10), необхідно у рейкове коло ділянки наближення забезпечити трансляцію коду «КЖ», а також увімкнути загороджувальні світлофори із червоним вогнем.

Залізничний переїзд закритий, наявний автотранспорт			
Блок-ділянка наближення Розрахункова швидкість 100 км/год Час закритого стану 40 сек. Розрахункова довжина ділянки наближення 1111 м		Поїзд Швидкість V1 38,88 км/год Швидкість V2 40,32 км/год Прискорення 0,08 м/с ²	
Вимірювальна блок-ділянка Відстань 1 54 м Відстань 2 56 м Час вимірювання 5 сек. 5 сек.		Переїзд Час затримки 55 сек. Координата закриття переїзду 496 м Шлях до координати закриття 615 м	
Наявний код в рейковій лінії Ж		Напрямок руху поїзда ← →	
Стан залізничного переїзду Залізничний переїзд Закритий Зона переїзду Зайнята автотранспортом			
Рішення			
Для поїзда		Надсилати код КЖ	
Для табло		Продовжувати відображати напрям руху поїзда	
Для переїзду		Відсутні	

Рисунок 5.10 – Макет роботи системи у випадку закритого стану переїзду, наявності автодорожніх транспортних засобів у його межах і трансляції у РЛ коду «Ж»

5.3. Підвищення безпеки на залізничних переїздах при використанні комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах

Технічні засоби повинні задовольняти основним технічним принципам убезпечення руху поїздів [41; 141]:

- системності – передбачає функціонування різних технічних засобів, не пов'язаних між собою, на перший погляд, у єдиній системі для досягнення спільної мети (єдиного кінцевого результату – безпечного перевезення);
- адекватності – передбачає відповідність існуючих технічних засобів сучасному рівню швидкостей та вимогам щодо залізничного транспорту;

- контролю – передбачає контролювання максимальної кількості параметрів функціонування системи протягом усього технологічного процесу з подальшим поданням інформації обслуговуючому персоналу;
- резервування – передбачає наявність декількох однотипних технічних засобів, які можуть взаємно замінити один одного під час виходу з ладу одного з них;
- захисної післядії – передбачає перехід до захисного стану, під час порушення показників функціонування, який знижує ефективність роботи, але не сприяє аваріям.

Розроблена комплексна система підвищення безпеки руху на залізничних переїздах відповідає практично усім із зазначених принципів:

- системності – за рахунок узгодження її роботи із існуючими на даний час системами автоматичної переїзної сигналізації;
- адекватності – за рахунок урахування швидкостей наближення залізничної рухомої одиниці до переїзду;
- контролю – за рахунок періодичного проведення самотестування системи, постійного контролю швидкості та часу наближення залізничної рухомої одиниці до переїзду, наявності автодорожніх транспортних засобів у межах залізничного переїзду, а також можливості зниження швидкості руху залізничної рухомої одиниці (збільшення часу досягнення меж переїзду) за рахунок трансляції у рейкове коло відповідних кодів АЛС;
- резервування і захисної післядії – за рахунок невтручання у роботу існуючої АПС у випадку негативного результату самотестування системи, таким чином у цьому випадку безпека хоч і не підвищується, однак і не знижується, тобто залишається на рівні безпеки існуючої АПС.

Крім цього, розроблена комплексна система, сприяє підвищенню безпеки на залізничних переїздах за рахунок відповідності наступним принципам підтримання та підвищення рівня безпеки [41]:

- системності – передбачає діяльність, яка має носити системний, постійний та упорядкований характер – за рахунок постійного моніторингу транспортної обстановки у межах залізничного переїзду;
- випередження – передбачає діяльність, яка повинна носити випереджувальний характер, спрямований на своєчасне виявлення та усунення негативних факторів, що можуть призвести до транспортних подій – за рахунок контролю наявності автодорожніх транспортних засобів у межах залізничного переїзду;
- інформованості – передбачає діяльність, яка має будуватися на максимальній інформованості кожного працівника у межах його обов'язків про небезпечні фактори, які впливають на рівень безпеки руху – за рахунок інформування водіїв автодорожніх транспортних засобів про напрям руху залізничної рухомої одиниці та часу, який залишився до спрацювання переїзної автоматики;

Визначення ймовірності ДТП на залізничних переїздах при використанні комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах.

Виходячи із даних, які наведені у розділі 1 визначимо ймовірність ДТП на залізничному переїзді із автоматичною сигналізацією без чергового працівника:

.DSMT4

де: – середнє значення за останні 5 років кількості ДТП на залізничних переїздах із автоматичною сигналізацією без чергового працівника; – середнє значення за останні 5 років залізничних переїздів із автоматичною сигналізацією без чергового працівника.

Ймовірність ДТП на залізничному переїзді із автоматичною сигналізацією та автоматичними шлагбаумами:

.DSMT4

де: – середнє значення за останні 5 років кількості ДТП на залізничних переїздах із автоматичною сигналізацією та автоматичними шлагбаумами; – середнє значення за останні 5 років залізничних переїздів із автоматичною сигналізацією та автоматичними шлагбаумами.

Оскільки розроблена комплексна система підвищення безпеки на залізничних переїздах знижуватиме кількість ДТП як за рахунок запровадження фіксованого часу сповіщення так і за рахунок контролю за рухом автодорожніх транспортних засобів через залізничний переїзд, розглянемо вплив зазначених факторів на це зниження.

За даними [142], при застосуванні систем АПС із постійним часом сповіщення, кількість аварій на залізничних переїздах зменшується: при автоматичній світлофорній переїзній сигналізації – на 20 – 30%, при автоматичних шлагбаумах та автоматичній сповіщальній сигналізації – на 7 – 15%.

Виходячи із зазначеного ймовірність ДТП при реалізації фіксованого часу сповіщення на залізничному переїзді із автоматичною сигналізацією без чергового працівника становитиме:

.DSMT4

При реалізації фіксованого часу сповіщення на залізничному переїзді із автоматичною сигналізацією та автоматичними шлагбаумами:

.DSMT4

Застосування контролю за наявністю автодорожніх транспортних засобів у межах залізничного переїзду зменшує кількість аварій при автоматичній світлофорній переїзній сигналізації – на 20 – 60%, при автоматичних шлагбаумах та автоматичній сповіщальній сигналізації – на 10 – 30% [66; 143].

Виходячи із зазначеного ймовірність ДТП при застосуванні контролю за наявністю автодорожніх транспортних засобів на залізничному переїзді із автоматичною сигналізацією без чергового працівника становитиме:

.DSMT4

При застосуванні контролю за наявністю автодорожніх транспортних засобів на залізничному переїзді із автоматичною сигналізацією та автоматичними шлагбаумами:

.DSMT4

Отже ймовірність ДТП при запровадженні запропонованої у роботі комплексної системи підвищення безпеки на залізничних переїздах, яка реалізовує обидва фактори зниження кількості ДТП становитиме не більше:

– для залізничного переїзду із автоматичною сигналізацією без чергового працівника:

.DSMT4

– для залізничного переїзду із автоматичною сигналізацією та автоматичними шлагбаумами:

5.4. Висновки до розділу

За результатами проведених теоретичних досліджень розроблено алгоритм роботи комплексної системи підвищення безпеки за рахунок контролю рухомих одиниць у межах залізничного переїзду, який дає змогу:

- мінімізувати час закритого стану переїзду, а, відповідно, і час непродуктивного простою автодорожніх транспортних засобів при очікуванні відкриття переїзду;
- інформувати водіїв автодорожніх транспортних засобів про напрям руху поїздів на переїзді та про час, який залишився до його закриття;
- здійснювати контроль за рухом автодорожніх транспортних засобів через залізничний переїзд під час руху поїзда ділянкою наближення;
- повідомляти машиніста локомотива, який наближається до залізничного переїзду про небезпеку.

Розроблена у роботі комплексна система підвищення безпеки руху на залізничних переїздах відповідає технічним принципам убезпечення руху поїздів та сприяє підвищенню безпеки на залізничних переїздах за рахунок відповідності принципам підтримання та підвищення рівня безпеки, які прийняті на залізничному транспорті України.

При запровадженні запропонованої у роботі 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.

ЗАГАЛЬНІ 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 здійснюється 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 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 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 більших 80 кГц знижується внаслідок дії скін-ефекту у провідниках петлі.

9. За результатами проведених експериментів також можна стверджувати, 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 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 у роботі 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Україна у цифрах у 2013 році. Статистичний збірник / Під ред. Осауленка О. Г. – Державна служба статистики. – К.: ТОВ "Видавництво "Консультант", 2014. – 240 с.
2. Транспорт і зв'язок України 2013. Статистичний збірник – Державна служба статистики України. – К.: ТОВ "Видавництво "Консультант", 2014. – 222 с.
3. Мусієнко О. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2008 році / О. Мусієнко, В. Гусь, В. Крот – Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К.: Головне Управління Безпеки руху і екології, 2009. – 108 с.
4. Мусієнко О. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2009 році / О. Мусієнко, М. Кутняк, С. Ребриков, В. Крот – Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К.: Головне Управління Безпеки руху і екології, 2010. – 92 с.
5. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України за дев'ять місяців 2010 року – Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К.: Головне Управління Безпеки руху і екології, 2011. – 79 с.
6. Мусієнко О. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2011 році / О. Мусієнко, О. Ходаковський, С. Ребриков, В. Крот – Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К.: Головне Управління Безпеки руху і екології, 2012. – 94 с.
7. Гержод Ю. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства в Україні за 2012 рік / Ю. Гержод, М. Горбаха, В. Коськовецький [та ін.]. – Департамент безпеки і Міністерства інфраструктури України. – К.: Міністерство інфраструктури України, 2013. – 52 с.
8. Горбаха М. Аналіз стану безпеки руху на автомобільному (загального користування, відомчому), міському електричному та залізничному транспорті, польотів на авіаційному транспорті, судноплавства на морському та річковому транспорті в Україні за 2013 рік / М. Горбаха, В. Коськовецький, Д. Міков [та ін.]. – Департамент безпеки Міністерства інфраструктури України. – К.: Міністерство інфраструктури України, 2014. – 117 с.
9. Expert Group on Safety at Level Crossings [Електронний ресурс] // UNECE. – Режим доступу: http://www.unece.org/trans/roadsafe/eg_level_crossings.html – Заголовок із екрану.
10. 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.
11. 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/stp2016/60936).
12. Возняк О. М. Забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах : Монографія / О. М. Возняк, В. І. Гаврилюк; Під ред. Гаврилюка В. І. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2016. – 282 с. (ISBN 978-966-8471-70-4).
13. Орловська О. В. Загальні принципи оцінки економічної ефективності заходів підвищення безпеки руху / О. В. Орловська, Я. В. Болжеларський, О. М. Возняк // Залізничний транспорт України. 2016. – № 3/4. – С. 45–52.

14. 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.
15. 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.drti.donetsk.ua:8080/jspui/handle/123456789/389>).
16. 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>).
17. 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>).
18. 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. (Режим доступу: URL: <http://ecsrt.diit.edu.ua/article/view/73846>).
19. 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. (Режим доступу: URL: <http://ecsrt.diit.edu.ua/article/view/73859>).
20. Болжеларський Я. В. Особливості розрахунку часу сповіщення та ділянки наближення залізничних переїздів [Текст] / Я. В. Болжеларський, О. М. Возняк, А. С. Куйбіда // Безопасность и электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте : Тезисы V Междунар. науч.-практ. конф.: 14.02.2012–17.02.2012. – Днепропетровск: 2012. – С. 14–15.
21. Возняк О. М. Системи залізничної автоматики і телемеханіки як об'єкт судової залізнично-транспортної експертизи. / О. М. Возняк // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні тенденції розвитку судової експертизи». – Сімферополь: 2012. – С. 197–200.
22. Возняк О.М. Метод визначення режиму роботи рейкового кола за його характеристичними параметрами / О.М. Возняк // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: Управління, економіка, технології: Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. – Серія «Техніка, технології». – К.: 2013. – С. 149–150.
23. Luczko J. Urzadzenie do mierzenia I oceny stanu naprezenie-odkształcenie srodkow transportu przy zmiennym obciazeniu i temperaturze. / J. Luczko, V. Kovalchuk, O. Wozniak // Materialy II Miedzynarodowej Konferencji Naukowej “Trwalosc napraw obiektow budowlanych” 19-21 listopada 2014 r. – Poznan: 2014. – P. 14. (Матеріали конференції).

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

25. 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. – Дніпропетровськ: 2015. – С. 19–20. (Львів 09–11 вересня 2015 р.).

26. Возняк О.М. Підвищення безпеки на залізничних переїздах за рахунок використання систем із фіксованим часом сповіщення / 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. – Дніпропетровськ: 2015. – С. 26. (Львів 09–11 вересня 2015 р.).

27. 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. – Дніпропетровськ: 2015. – С. 38–39. (Львів 09–11 вересня 2015 р.).

28. 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: 2015. – С. 18. (Днепропетровск, 16–17 декабря 2015 г.).

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

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

31. ГОСТ Р 54898-2012. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных переездах. Требования безопасности и методы контроля – М.: Стандартинформ, 2012. – 12 с.

32. Federal Railroad Administration [Електронний ресурс] // Federal Railroad Administration. – Режим доступу: <http://www.fra.dot.gov> – Заголовок із екрану.
33. Office of Safety Analysis [Електронний ресурс] // Federal Railroad Administration. – Режим доступу: <http://safetydata.fra.dot.gov/officeofsafety/> – Заголовок із екрану.
34. European Railway Agency [Електронний ресурс] // European Railway Agency. – Режим доступу: <http://www.era.europa.eu> – Заголовок із екрану.
35. ERAIL. Safety Indicators [Електронний ресурс] // European Railway Agency. – Режим доступу: <http://erail.era.europa.eu> – Заголовок із екрану.
36. Анализ состояния безопасности движения на железнодорожных переездах российских железных дорог за 12 месяцев 2011 года – Открытое акционерное общество «Российские Железные Дороги», Управление пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры филиала ОАО «РЖД». – М.: ОАО «РЖД», 2012. – 65 с.
37. Самсонкін В. Н. Безпека руху поїздів на залізничному транспорті / В. Н. Самсонкін, А. Б. Бойник, О. Й. Соколов – К.: КУЕТТ, 2005. – 170 с.
38. Годяев А. И. Методологические основы и принципы построения систем поддержки принятия решений в задачах обеспечения безопасности управления движением на железнодорожном транспорте : дис. д-ра техн. наук : 05.22.08 / А. И. Годяев – М.: Московский государственный университет путей сообщения, 2006. – 754 с.
39. Бойник А. Б. Безопасность на переездах магистрального железнодорожного транспорта (история и анализ) / А. Б. Бойник // Залізнич. транспорт України. 2001. – № 2. – С. 29–32.
40. Бойник А. Б. Вероятностная модель функционирования железнодорожных переездов по критерию безопасности / А. Б. Бойник // Залізнич. транспорт України. 2003. – № 1. – С. 29–31.
41. Самсонкін В. М. Безпека руху поїздів на залізничному транспорті : Навч. посібник для вузів. Ч. 2 / В. М. Самсонкін, Т. О. Шалаєва, О. А. Абакумов, П. О. Яновський – К.: КУЕТТ, 2005. – 109 с. (- Рек. Міносвіти і науки України. - ISBN 966-7737-48-9).
42. Бойник А. Б. Безопасность железнодорожных переездов: Монография / А. Б. Бойник – Харьков: "Транспорт Украины", 2003. – 183 с. (ISBN 966–7561–24–7).
43. Чех Н. П. «Барьер - Автомат» - Устройство заграждения переезда / Н. П. Чех, В. Ф. Скубак, О. И. Цысь, В. А. Лавров // Экспресс – информация. «Путь и путевое хозяйство». Выпуск 4. – М.: ЦНИИТЭИ МПС, 1997. – С. 1–7.
44. Чех Н. П. Устройство заграждения переезда / Н. П. Чех, В. Ф. Скубак, О. И. Цысь, В. А. Лавров // Путь и путевое хозяйство. 1998. – № 1. – С. 28–29.
45. Степанов Н. М. Автоматическая сигнализация на переездах и искусственных сооружениях / Н. М. Степанов, М. А. Новиков – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: "Транспорт", 1982. – 136 с.
46. Наказ ЦШ-14/244 від 04.05.2012р. Начальника Головного управління сигналізації і зв'язку Укрзалізниці – К.: 2012
47. Інструкція з улаштування та експлуатації залізничних переїздів: ЦП 0174 – К.: М-во транспорту та зв'язку України. – 68 с. (Нормативний документ)

Мінтрансв'язку України).

48. Абакумов О. А. Ефективність систем автоматичної переїзної сигналізації / О. А. Абакумов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2010. – № 114. – С. 12–19.

49. Возняк О. М. Особливості розрахунку часу сповіщення та ділянки наближення залізничних переїздів / О. М. Возняк, Я. В. Болжеларський, А. С. Куйбіда // Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: Тези доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпропетровськ: 2012. – С. 14–15.

50. 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 р. Бюл. №19.

51. Henning S. Funktionalität von Bahnübergängen im FFB-Netz. / S. Henning // SIGNAL und DRAHT. 1998. Vol. 90. – No. 12. – P. 19–21.

52. Matoba K. Grade crossings: A look to the future / K. Matoba // Railway Track & Structures. Simmons-Boardman Publishing Corporation, 2000. Vol. 96. – No. 6. – P. 23–30.

53. Sobolev Y. Principles of railway crossing signaling control using satellite systems of navigation / Y. Sobolev, A. Bojnik // Eastern-European J. of Enterprise Technologies. 2003. – Vol. 1. – P. 21–28.

54. Грибков О. И. Разработка систем контроля бдительности и оповещения железнодорожников об опасности наезда. Диссертация кандидата технических наук / О. И. Грибков – М.: 1996. – 199 с.

55. Петров А. Ф. Переезды, переезды, переезды! Новые требования, новые схемы / А. Ф. Петров // Автоматика, связь, информатика. 1998. – № 2. – С. 24–29.

56. Масайтис Ю. Л. Переездной автоматический комплекс устройств / Ю. Л. Масайтис // Автоматика, телемеханика и связь. 1997. – № 11. – С. 27.

57. Грачев Г. Н. Применение метода импульсного зондирования для организации переездной сигнализации / Г. Н. Грачев, М. Б. Гуменик // Автоматика, телемеханика и связь. – М.:1997. – № 11. – С. 28–30.

58. Петров А. Ф. Новые схемы автоматической и переездной сигнализации / А. Ф. Петров // Автоматика, связь, информатика. – М.:2000. – № 3. – С. 5–6.

59. Устройство заграждения переезда // Экспресс - информация. «Безопасность движения». Выпуск 4. – М.: ЦНИИТЭИ МПС, 1996.

60. Петров А. Ф. Устройство заграждения железнодорожного переезда / А. Ф. Петров // Автоматика, телемеханика и связь. 1997. – № 11. – С. 24–28.

61. Тарасов Е. М. Повышение безопасности на переездах, оборудованных светофорной сигнализацией / Е. М. Тарасов, А. Н. Носов // Материалы второй международной научно-практической конференции «Безопасность транспортных систем». – Самара: 2000. – С. 3–4.

62. Debiolles A. Track circuit automatic diagnosis based on a local electrical modelling / A. Debiolles, L. Oukhellou, P. Aknin, T. Denoeux // 7th World Congress on Railway Research. – Montreal: 2006. (4–8 June 2006, Montreal, Canada).

63. Aknin P. Track circuit diagnosis based on automatic analysis of measurement records / P. Aknin, L. Oukhellou, F. Vilette // WCRR. – Edinburgh: 2003.

64. Oukhellou L. Automatic diagnosis of track circuit in predictive maintenance context / L. Oukhellou, P. Aknin, A. Debiolles, F. Vilette // International Conference of Railway Engineering. – London: 2003.
65. Oukhellou L. Classification and localization of defects by combined use of internal and external modelings / L. Oukhellou, P. Aknin, F. Vilette // Proc. Int. Conf. PSIP. – Grenoble: 2003. – P. 165–168.
66. Mekki A. Validation of a new functional design of automatic protection systems at level crossings with model-checking techniques / A. Mekki, M. Ghazel, A. Toguyeni // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2012. – Vol. 13. – P. 714–723. (doi: 10.1109/TITS. 2011. 2178238.).
67. Fessant F. Modélisation électrique du circuit de voie, élément du système de transmission voie-machine des TGV / F. Fessant, P. Aknin, F. Vilette, M. Antoni // 3EI revue. 2001. – No. 27.
68. Niska S. Measurements and analysis of electromagnetic interferences in the Swedish railway systems / S. Niska – Division of Operation and Maintenance Engineering . Vol 2008:76. – Lulee: Lulee University of Technology, 2008. – 47 pp.
69. Niska S. Measurements and analysis of electromagnetic interference in a railway signal box: a case study / S. Niska, H. Schunnesson, U. Kumar // International Journal of Reliability, Quality & Safety Engineering. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2011 . Vol. 18. – No. 3. – P. 285–303.
70. Roberts C. Distributed quantitative and qualitative fault diagnosis: railway junction case study / C. Roberts, H.P. B. Dassanayake, N. Lehasab, C. J. Goodman // Control Engineering Practice. 2002. Vol. 10. – No. 4. – P. 419–429. (doi: 10.1016/S0967-0661(01)00159-9).
71. Nyström B. Use of availability concepts in the railway system / B. Nyström // International Journal of Performability Engineering. RAMS Consultants, 2009. Vol. 5. – No. 2. – P. 103–118.
72. Patra A. P. Availability analysis of railway track circuits / A. P. Patra, U. Kumar // Institution of Mechanical Engineers. Proceedings. Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. Professional Engineering Publishing Ltd., 2010. Vol. 224. – No. 3. – P. 169–177.
73. Chen J. Fault detection and diagnosis for railway track circuits using neuro-fuzzy systems / J. Chen, C. Roberts, P. Weston // Control Engineering Practice. 2008. Vol. 16. – No. 5. – P. 585–596. (doi: 10.1016/j.conengprac.2007.06.007).
74. Murata T. Petri nets: Properties, analysis and applications / T. Murata // Proceedings of the IEEE. 1989. Vol. 77. – No. 4. – P. 541–580. (doi: 10.1109/5.24143).
75. Huang Y. S. Traffic Light Controller for Parallel Railroad Level Crossing Traffic Control Systems Using Deterministic and Stochastic Petri nets / Y. S. Huang, Y. S. Weng, M. Y. Liu, J. R. Chen // IFAC Proceedings Volumes. 2012. Vol. 45. – No. 6. – 23–25 May . – P. 321–326. (doi:10.3182/20120523-3-RO-2023.00067).
76. Durmuş M. S. Fail-Safe Signalization Design for a Railway Yard: A Level Crossing Case / M. S. Durmuş, U. Yıldırım, A. Kurşun, M. T. Söylemez // IFAC Proceedings Volumes. 2010. Vol. 43. – No. 12. – P. 337–342.
77. EN 50126:1999 Railway applications. The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). Basic requirements and generic process – Brussels: BSI, 1999. – 74 pp. (Published: December 1999).

78. CENELEC EN 50129: Railway Applications – Communications, Signalling and Processing Systems – Safety Related Electronic Systems for Signalling, 2003
79. Бойник А. Б. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах / А. Б. Бойник – Харків: УкрГАЖТ, 2005. – 256 с.
80. 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.
81. Патент UA №105415 МПК B61L 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 Возняк О. М. – u2015 05348; заяв. 02.06.2015, опублік. 25.03.2016 Бюл. №6.
82. Level Crossing Obstacle Detection [Електронний ресурс] // Mermec S.P.A. – Режим доступу: <http://www.mermecgroup.com/protect/level-crossing/1033/level-crossing-obstacle-detection.php> – Заголовок із екрану.
83. Kazutoshi S. Obstruction detector using ultrasonic sensors for upgrading the safety of a level crossing / S. Kazutoshi, H. Arai, T. T.M. Shimizu // Proc. Of the Intern. Conference on Developments in Mass Transit Systems. – London: 1988. – P. 190–195. (doi: 10.1049/cp:19980140).
84. Lohmeier S. P. Development of an ultrawideband radar system for vehicle detection at railway crossings / S. P. Lohmeier, R. Rajaraman, V. C. Ramasami // Proc. of IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symposium (24.06–28.06.2002). 2002. – Vol. 6. – P. 3692–3694. (doi: 10.1109/IGARSS.2002.1027293).
85. Pu Y. R. Study of moving obstacle detection at railway crossing by machine vision / Y. R. Pu, L. W. Chen, S. H. Lee // Information Technology Journal. 2014. Vol. 13. – No. 16. – P. 2611–2618. (doi: 10.3923/itj.2014.2611.2618).
86. Shaposhnikov D. G. Road sign recognition by single positioning of space-variant sensor window / D. G. Shaposhnikov, L. N. Podladchikova, A. V. Golovan, N. A. Shevtsova // Proc. of the 15th Intern. Conference on Vision Interface. – Calgary: 2002. – P. 213–217.
87. Takeda T. Improvement of railroad crossing signals / T. Takeda // Proc. of 1999 IEEE/IEEJ/JSAI Intern. Conference on Intelligent Transportation Systems (05.10–08.10. 1999). – Tokyo: 1999. – P. 139–141. (doi: 10.1109/ITSC.1999.821042).
88. Klein L. Traffic detector handbook : in 2 Vol. / L. Klein, M. Mills, D. Gibson – 3rd. Vol I & II. – Rancho Palos Verdes, California: McLean, VA, 2006. (<http://www.tfhr.gov/its/pubs/06108/06108.pdf> - V.1; <http://www.tfhr.gov/its/pubs/06139/06139.pdf> - V. 2).
89. Правила технічної експлуатації залізниць України / Затверджені Міністерством транспорту України від 20.12.96 № 411 зі змінами та доповненнями, внесеними наказами МТУ від 08.06.98 № 226, від 23.07.99 № 386, від 19.03.2002 № 179, від 10.12.2003 № 962. [Електронний ресурс]– Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97> – Заголовок із екрану.
90. Патент РФ №2169678 МПК В 61 L 23/18; В 61 L 29/22 Устройство для переездной сигнализации / Тарасов Е. М., Белоногов А. С., Мохоныко В. П. [и др.]; заявитель СамИЖТ заяв. 06.16.2000, опублік. 27.06.2001.

91. Брылеев А. П. Теория, устройство и работа рельсовых цепей / А. П. Брылеев, Ю. А. Кравцов, А. В. Шишляков – М.: Транспорт, 1978. – 344 с.
92. Котляренко Н. Ф. Электрические рельсовые цепи / Н. Ф. Котляренко – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 327 с.
93. Пенкин Н. Ф. Рельсовые цепи переменного тока с дроссель-трансформаторами / Н. Ф. Пенкин – М.: Трансжелдориздат, 1953. – 139 с.
94. Дмитриев В. С. Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты / В. С. Дмитриев, В. А. Минин – М.: Транспорт, 1992. – 182 pp.
95. Котляренко Н.Ф. Путевая блокировка и авторегулировка: Учебник для вузов / Н.Ф. Котляренко, А.В. Шишляков, Ю.В. Соболев [и др.]; Под ред. Котляренко Н.Ф. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: "Транспорт", 1983. – 408 с.
96. Аркатов В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко – М.: "Транспорт", 1992. – 384 с.
97. Аркатов В. С. Рельсовые цепи: Анализ работы и техническое обслуживание / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский – М.: "Транспорт", 1990. – 295 с.
98. Аркатов В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник / В. С. Аркатов, Ю. В. Аркатов, С. В. Казеев, Ю. В. Ободовский – 3-е издание, переработанное и дополненное. – М.: "ООО Миссия-М", 2006. – 496 с.
99. Мохонько В. П. Устройство контроля координаты и скорости поезда системы управления переездной сигнализацией: диссертация. кандидата технических наук : 05.13.05 / В. П. Мохонько – Самара: 2002. – 188 с.
100. Мохонько В. П. Использование информации о входном сопротивлении рельсовой линии для определения координаты и скорости подвижной единицы / В. П. Мохонько // Материалы второй международной научно-практической конференции «Безопасность транспортных систем». – Самара: 2000. – Р. 75–76.
101. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и таблицами / Под ред. Абрамовича М. – М.: "Наука", 1979. – 830 с.
102. Каллер М. Я. Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Учебник для вузов ж.-д. трансп. / М. Я. Каллер, Ю. В. Соболев, А. Г. Богданов – М.: "Транспорт", 1987. – 335 с.
103. Суетин П. К. Классические ортогональные многочлены / П. К. Суетин – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2005. – 480 с.
104. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в Mathcad. Учебный курс / Е. Г. Макаров – СПб.: Питер, 2003. – 448 с.
105. Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов / В.Ф. Очков – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 368 с.
106. Батоврин В. К. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий: Учебное пособие для вузов / В. К. Батоврин, А. С. Бессонов, В. В. Мошкин, В. Ф. Папуловский – М.: ДМК Пресс, 2005. – 208 с.
107. Бутырин П. А. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе Lab VIEW 7 / П. А. Бутырин, Т. А. Васьковская, В. В. Каратаев [и др.]; Под ред. Бутырина П. А. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 264 с.
108. Каганов З. Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы / З. Г. Каганов – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 247 с.

109. Дмитренко И. Е. Измерения в устройствах автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте / И. Е. Дмитренко, А. А. Устинский, В. И. Цыганков – М.: Транспорт, 1982. – 312 с.
110. Дмитренко И. Е. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / И. Е. Дмитренко, В. В. Сапожников, Д. В. Дьяков – М.: Транспорт, 1994. – 263 с.
111. Thompson M. T. Inductance Calculation Techniques. Part II: Approximations and Handbook Methods / M. T. Thompson // Power Control and Intelligent Motion. 1999. – December.
112. Калантаров П. Л. Расчет индуктивностей: Справочная книга / П. Л. Калантаров, Л. А. Цейтлин – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1986. – 488 с.
113. Holloway C. L. Partial and Internal Inductance: Two of Clayton R. Paul's Many Passions / C. L. Holloway, E. F. Kuester, A. E. Ruehli, G. Antonini // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 2013. Vol. 55. – No. 4. – P. 600–613.
114. Сарапулов Ф. Н. Расчет параметров цепей электротехнологических установок: Учебное пособие / Ф. Н. Сарапулов – Екатеринбург: УГТУ, 1999. – 83 с.
115. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов / И. С. Гоноровский – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.
116. Antonini G. Review of Clayton R. Paul Studies on Multiconductor Transmission Lines / G. Antonini, A. Orlandi, S. A. Pignari // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 2013. Vol. 55. – No. 4. – Aug. – P. 639–647. (DOI: 10.1109/TEMCP.2013.2265038).
117. Walker C. Capacitance, Inductance, and Crosstalk Analysis / C. Walker – Norwood: Artech House, 1990. – 245 pp.
118. Rosa E. B. The self and mutual inductance of linear conductors / E. B. Rosa // Bull. Bureau Standards. – Washington: 1908. Vol. 4. – No. 2. – P. 301–344.
119. Paul C. R. Analysis of Multiconductor Transmission Lines / C. R. Paul – 2nd. – New York: Wiley, 2008. – 780 pp.
120. Paul C. R. Inductance: Loop and Partial / C. R. Paul – New York: Wiley, 2010. – 379 pp.
121. Grover F. W. Inductance Calculations: Working Formulas and Tables / F. W. Grover – New York: Courier Corporation, 2004. – 286 pp.
122. Дерех З. Д. Правила дорожнього руху з коментарями та ілюстраціями. 9-те вид., виправл. і доп / З. Д. Дерех, В. Ф. Душник – К.: Арії, 2011. – 168 с.
123. Фоменко О. Я. Правила дорожнього руху України: автошкола (коментар у малюнках) / О. Я. Фоменко, Б. Л. Раціборинський, В. Є. Гусар – К.: УКРСПЕЦВИДАВ, 2016. – 112 с. (ISBN 978-617-7174-15-7).
124. Тарасик В. И. Теория движения автомобиля: [учебник для вузов] / В. И. Тарасик – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 478 с.
125. Хусаинов А. Ш. Тяговый расчет автомобиля: [учебное пособие по дисциплине «Теория автомобиля» для студентов, обучающихся по специальности 19020165 – Автомобиле- и тракторостроение] / А. Ш. Хусаинов – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – 47 с.

126. Баловнев В. И. Автомобили и тракторы: [краткий справочник] / В. И. Баловнев, Р. Г. Данилов – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.
127. Васильев Б. С. Автомобильный справочник / Б. С. Васильев, М. С. Высоцкий, К. Л. Гаврилов [и др.]; Под ред. Приходько В. М. – М.: ОАО "Издательство "Машиностроение", 2004. – 704 с. (ISBN 5—217—03197—2).
128. Селифонов В. В. Устройство и техническое обслуживание автобусов. Учебник водителя транспортных средств категории «D» / В. В. Селифонов, М. К. Бирюков – М.: ЗАО "КЖИ "За рулем", 2004. – 304 с. (ISBN 5-85907-338-0).
129. Селифонов В. В. Устройство и техническое обслуживание грузовых автомобилей: учебник для нач. проф. образования / В. В. Селифонов, М. Б. Бирюков – М.: Издательский центр "Академия", 2007. – 400 с.
130. Острецов А. В. Классификация транспортных средств: Учебное пособие по дисциплине «Конструкция автомобиля и трактора» для студентов вузов, обучающихся по специальности 19020165 (150100) «Автомобиле – и тракторостроение» / А. В. Острецов, Б. Н. Белоусов, П. А. Красавин, В. В. Воронин – М.: МГТУ "МАМИ", 2011. – 71 с.
131. Бовсуновський А. П. Електротехнічні матеріали: Корот. довідник / А. П. Бовсуновський – НУХТ. – К.: 2012. – 36 с.
132. Провод установочный ПВ-1 [Электронный ресурс] // Кабельный завод "Компания ТУМЕН". – Режим доступа: http://www.twomen.odessa.ua/products/cu/ustanovochnie_provoda/pv-1/ - Заголовок с экрана.
133. Кабели сигнально-блокировочные СБЗПу с полиэтиленовой изоляцией в полиэтиленовой утолщенной оболочке, с гидрофобным заполнением [Электронный ресурс] // ПАО «Одесский кабельный завод «Одескабель». – Режим доступа: <http://www.odeskabel.com/connect-rus/kabeli-signalno-blokirovochnye/54-42.html> - Заголовок с экрана.
134. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник / Л. А. Бессонов – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – Ч.1: Линейные. – 638 с.
135. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. В 3 ч / Г. И. Атабеков – М.: Энергия, 1978. – Ч. 1: Линейные электрические цепи. – 592 с.
136. Сапожников В. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учебное пособие для вузов ж.д. трансп. / В. В. Сапожников, В. В. Сапожников, В. Ж. Шаманов; Под ред. Сапожникова В. В. – М.: Маршрут, 2003. – 263 с.
137. Каменев А. И. Безопасность движения поездов и надежность технических средств / А. И. Каменев, Н. Н. Балуюев, В. М. Адашкин // Автоматика, связь, информатика. 2003. – № 6. – С. 5-8.
138. Лисенков В. М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов / В. М. Лисенков – М.: Транспорт, 1992. – 192 с. (- ISBN 5-277-01322-9).
139. Меньшиков Н. Я. Надежность железнодорожных систем автоматики и телемеханики / Н. Я. Меньшиков, А. И. Королев, Р. Ш. Ягудин – М: Транспорт, 1976. – 215 с.

140. Філіппенко І. Г. Критерії оцінки рівня безпеки руху на залізничному транспорті / І. Г. Філіппенко, С. Є. Бантюков // Інформ.– керуючі системи на залізн. трансп. 1999. – № 3. – С. 6–7.
141. Бойник А. Б. Диагностирование устройств железнодорожной автоматики и агрегатов подвижных единиц: Учебник / А. Б. Бойник, Г. И. Загарий, С. В. Кошевой [и др.]. – Харьков: “Новое слово”, 2008. – 304 с.
142. Шмырев А. Г. Автоматическая сигнализация на железнодорожных переездах / А. Г. Шмырев – М.: Транспорт, 1964. – 152 с.
143. Pawlik M. Control command systems impact on the railway operational safety / M. Pawlik // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. 2015. Vol. 2 (56). – P. 58–64. (DOI: 10.15802/stp2015/42160).
144. Кравченко Е. И. Кодирование рельсовых цепей. Учебное пособие для вузов ж. -д. транспорта / Е. И. Кравченко, Д. В. Швалов – М.: Маршрут, 2006. – 134 с.
145. Luchko J. Device for measuring and evaluation stress-strain state transport facilities at variable load and temperature / J. Luchko, V. Kovalchuk, O. Wozniak // Durable Repair Methods in Buildings, Chapter: Science, research, technologies. – Wroclaw: Doltośląskie Wydawnicdwo Edukacujne, 2015. – P. 13–22.
146. 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.
147. 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.
148. 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.
149. Свідоцтво 67725 Україна про реєстрацію авторського права на службовий твір Комп’ютерна програма «Аналіз транзиту вагонів територією України («Вагон – Транзит»))» («Вагон – Транзит») [Текст] / Козаченко Д. М., Гера Б. В., Кунанець О. О. . [та ін.]; – № 68348; заяв. 08.07.2016.

ДОДАТКИ



МІНІСТЕРСТВО ЮСТИЦІЇ УКРАЇНИ

ЛЬВІВСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ СУДОВИХ ЕКСПЕРТИЗ

79024, м. Львів, вул. Липинського, 54, тел. 231-70-61, 231-76-13 e-mail: lndise@mail.lviv.ua,

ЄДРПОУ 23272864

„20” 12 2016 р., № 8356

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор Львівського

Науково-дослідного інституту

судових експертиз



О.Ф. Курильова

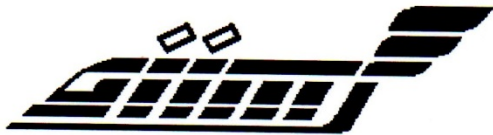
**акт
впровадження результатів дисертаційної роботи Возняка О.М.**

Даним актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи Возняка Олега Михайловича на тему «Підвищення безпеки руху на залізничних переїздах шляхом удосконалення методів та засобів контролю за рухомими одиницями» були використані при виконанні держбюджетної теми «Дослідження систем залізничної автоматики і телемеханіки у судовій залізнично-транспортній експертизі» (державний реєстраційний номер 0114U000612).

У процесі виконання зазначеної теми Возняком О.М. розроблена методика визначення параметрів режимів роботи рейкового кола при проведенні залізнично-транспортної експертизи систем залізничної автоматики і телемеханіки, що отримала схвалення Секції судової інженерно-транспортної експертизи Науково-консультативної та методичної ради при Міністерстві юстиції України, яка відбулася 20-21 жовтня 2016 року на базі Київського НДІСЕ (Протокол №46) та, після проведення апробації (акт додається), буде рекомендована до впровадження у практику спеціалізованих установ та науково-дослідних інститутів судової експертизи Міністерства юстиції України.

Завідувач лабораторії залізнично-транспортних досліджень
Львівського інституту судових експертиз

О.В. Джус



Міністерство освіти і науки України

Дніпропетровський національний
університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Львівська філія

79052, м. Львів, вул. І. Блажкевич, 12а

Тел.: (032) 226-01-47

Тел-факс.: (032) 267-04-80

"13" 12 2016 р. № 42

На № _____ від _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Львівської філії
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, к.т.н., доцент

 Я.В. Болжеларський

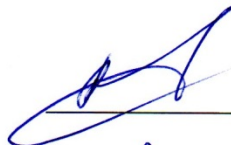
АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи старшого викладача кафедри «Транспортні технології» Львівської філії Возняка Олега Михайловича на тему «Підвищення безпеки руху на залізничних переїздах шляхом удосконалення методів та засобів контролю за рухомими одиницями» у навчальному процесі Львівської філії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Теоретичні положення, сформульовані у дисертаційній роботі Возняка Олега Михайловича «Підвищення безпеки руху на залізничних переїздах шляхом удосконалення методів та засобів контролю за рухомими одиницями» впроваджені у лекційному курсі з дисципліни «Автоматика, телемеханіка і зв'язок», яка викладається студентам денної та безвідривної форм навчання за спеціальністю 275.02 «Транспортні технології» (залізничний транспорт).

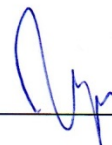
Використання результатів досліджень дозволяють студентам отримати уявлення щодо методів та засобів підвищення безпеки на залізничних переїздах та способів їх оцінки.

Декан факультету Львівської філії
д.е.н., професор



В.І. Копитко

Завідувач кафедрою «Транспортні технології»
Львівської філії д.т.н., професор



Б.В. Гера



МІНІСТЕРСТВО ЮСТИЦІЇ УКРАЇНИ

ЛЬВІВСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ СУДОВИХ ЕКСПЕРТИЗ

79024, м. Львів, вул. Липинського, 54, тел. 231-70-61, 231-76-13 e-mail: Indise@mail.lviv.ua,

ЄДРПОУ 23272864

„до” 12 2016 р., № 8354

Довідка

про впровадження результатів дисертаційного дослідження Возняка О.М.
«Підвищення безпеки руху на залізничних переїздах шляхом удосконалення
методів та засобів контролю за рухомими одиницями»

Теоретичні положення, сформульовані у дисертаційній роботі Возняка Олега Михайловича впроваджені у роботу судових експертів за спеціальністю 10.11 «Дослідження обставин та механізму залізнично-транспортної пригоди» лабораторії залізнично-транспортних досліджень Львівського інституту судових експертиз Міністерства юстиції України.

Зазначені положення, зокрема метод визначення відстані від переїзду до поїзда на ділянці наближення, його швидкості та прискорення шляхом вимірювання параметрів рейкових кіл з додатковим впровадженням контролю опору ізоляції баласту, використовуються у якості розробленої практичної методики дослідження технічного стану систем залізничної автоматики і телемеханіки та використання цієї інформації для розкриття механізму залізнично-транспортної пригоди з метою встановлення можливості її запобігання.

Завідувач лабораторії залізнично-
транспортних досліджень
Львівського НДІ судових експертиз

 О.В. Джус

ДОДАТОК Б
Таблиця Б.1

Сильні і слабкі сторони сенсорних технологій.

Технологія	Переваги	Недоліки
Магнітні (Індукційні або магнітометри)	• Можливе встановлення під проїжджою частиною. • Нечутливість до негоди, таких як сніг, дощ, туман. • Магнітометри можуть забезпечувати передачу даних за допомогою бездротової радіочастотної технології.	• Для встановлення необхідно виконати виріз у покритті або монтувати під проїжджою частиною. • Неправильний монтаж скорочує термін служби покриття. • Установка і обслуговування вимагають закриття руху. • Вимагають декількох пристроїв для повного покриття смуги руху. • Ускладнене виявлення транспортних засобів, які зупинилися
Мікрохвильові радары	• Нечутливі до похмурої погоди на коротких дистанціях. • Забезпечують пряме вимірювання швидкості. • Можлива робота на кількох смугах руху.	• Неперервна хвиля Допплерівських датчиків не може виявити транспортні засоби, які зупинилися.
Інфрачервоні (Активні та пасивні лазерні радары)	• Передає безліч променів для точного визначення місцезнаходження транспортного засобу, його швидкості і класу. • Можлива робота на кількох смугах руху.	• Зниження чутливості внаслідок туману, дощу, снігу, хуртовини. • Монтаж і технічне обслуговування вимагають закриття смуги руху. • Деякі моделі не можливо використати для виявлення наявності транспортного засобу.
Ультразвукові	• Можлива робота на кількох смугах руху. • Можливість виявлення великих транспортних засобів.	• Умови навколишнього середовища, такі як зміни температури і турбулентності повітря можуть вплинути на продуктивність. • Погіршується якість вимірювань на дорогах, де транспортні засоби рухаються на середніх і високих швидкостях.
Акустичні	• Забезпечують пасивне виявлення. • Нечутливі до опадів. • Можлива робота на кількох смугах руху.	• Низькі температури можуть вплинути на точність вимірювань. • Ускладнене використання при тихохідних транспортних засобах, або в умовах зупинка-рух.

Продовження таблиці Б.1

Технологія	Переваги	Недоліки
Процесори відео зображення	• Можливий моніторинг кілька смуг руху і кілька зон чи смуг виявлення. • Легко додавати і змінювати зони виявлення. • Багатий масив наявних даних. • Забезпечують виявлення широкої області, можуть з'єднуватися з іншими процесорами.	• Монтаж і технічне обслуговування, в тому числі періодична очистка лінз вимагають закриття смуги руху. • Продуктивність залежить від погодних умов (туман, дощ, сніг; тіні транспортних засобів; проекція автомобіля в сусідніх смугах руху; перехід дня у ніч; контраст транспортний засіб/дорога; вода, сіль, кіптява, бурульки та павутиння на об'єктиві). • Надійне спрацьовування вночі вимагає вуличного освітлення • Потрібно забезпечити необхідну висоту установки для оптимального виявлення присутності та вимірювання швидкості. • Чутливі до руху камери, викликаного вітром або вібраціями кріплення
Індуктивна петля (датчик)	• Гнучка конструкція яка задовольняє різноманітні потреби. • Можливість легко адаптувати до потреб. • Визначення основних параметрів транспортних засобів (розміри, наявність, розміщення, швидкість, напрям руху). • Нечутливість до негоди, таких як дощ, туман і сніг. • Досить висока точність порівняно з іншими методами. • Можлива класифікація транспортних засобів.	• Для встановлення необхідно виконати виріз у покритті. • Неправильний монтаж скорочує термін служби покриття. • Установка і обслуговування вимагають закриття руху. • Для моніторингу місця розташування, як правило, потрібно кілька петель. • Точність виявлення може зменшитися, якщо конструкція вимагає виявлення значного різноманіття класів транспортних засобів.

Таблиця Б.2.

Можливості, пропускна здатність зв'язку і вартість сенсорних технологій.

Сенсорна технологія	Кількість	Наявність	Швидкість	Вихідні дані	Класифікація	Кілька зон виявлення	Пропускна здатність каналу зв'язку	Вартість, доларів США *
Індуктивний датчик	✓	✓	✓	✓	✓	-	Від низької до помірної	Низька (500\$ – 800\$)
Магнітометр (індукційний)	✓	✓	✓	✓	-	-	Низька	Помірна (900\$ – 6300\$)
Магнітний	✓	✓	✓	✓	-	-	Низька	Від низької до помірної (385\$ – 2000\$)
Мікрохвильовий радар	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Помірна	Від низької до помірної (700\$ – 2000\$)
Активний інфрачервоний	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Від низької до помірної	Від помірної до високої (6500\$ – 3300\$)
Пасивний інфрачервоний	✓	✓	✓	✓	-	-	Від низької до помірної	Від низької до помірної (700\$ – 1200\$)
Ультразвуковий	✓	✓	✓	✓	-	-	Низька	Від низької до помірної (600\$ – 1900\$)
Акустичний	✓	✓	✓	✓	-	✓	Від низької до помірної	Помірна (3100\$ – 8100\$)
Процесор відео зображення	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Від низької до високої	Від помірної до високої (5000\$ – 26000\$)

Примітка: * витрати на монтаж, технічне обслуговування та ремонт також включені (станом на 1999рік).

Модель у середовищі розробки для візуальної мови програмування компанії National Instruments LabVIEW 2012

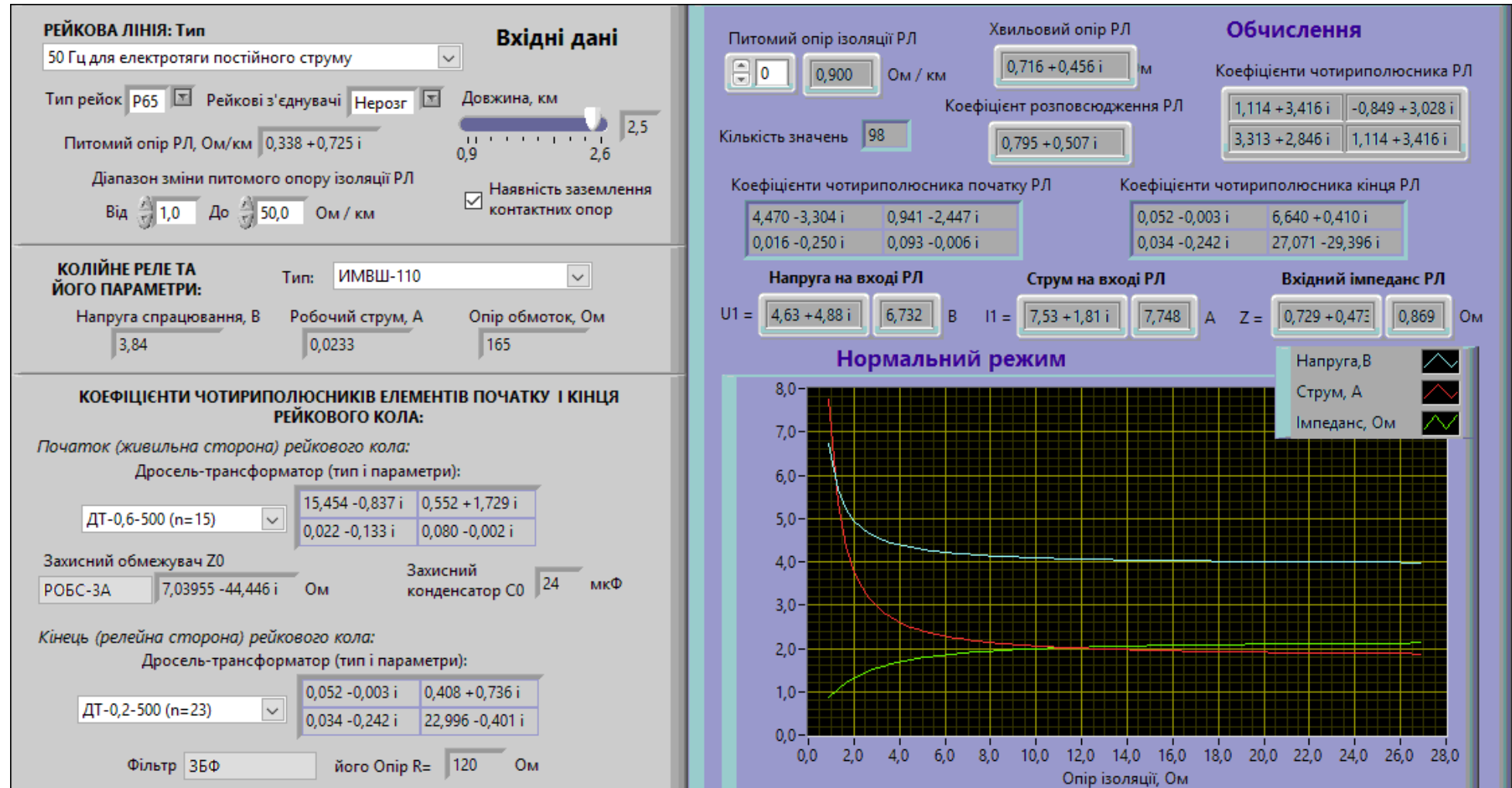


Рисунок В.1 – Вигляд робочої області визначення ознак рейкового кола

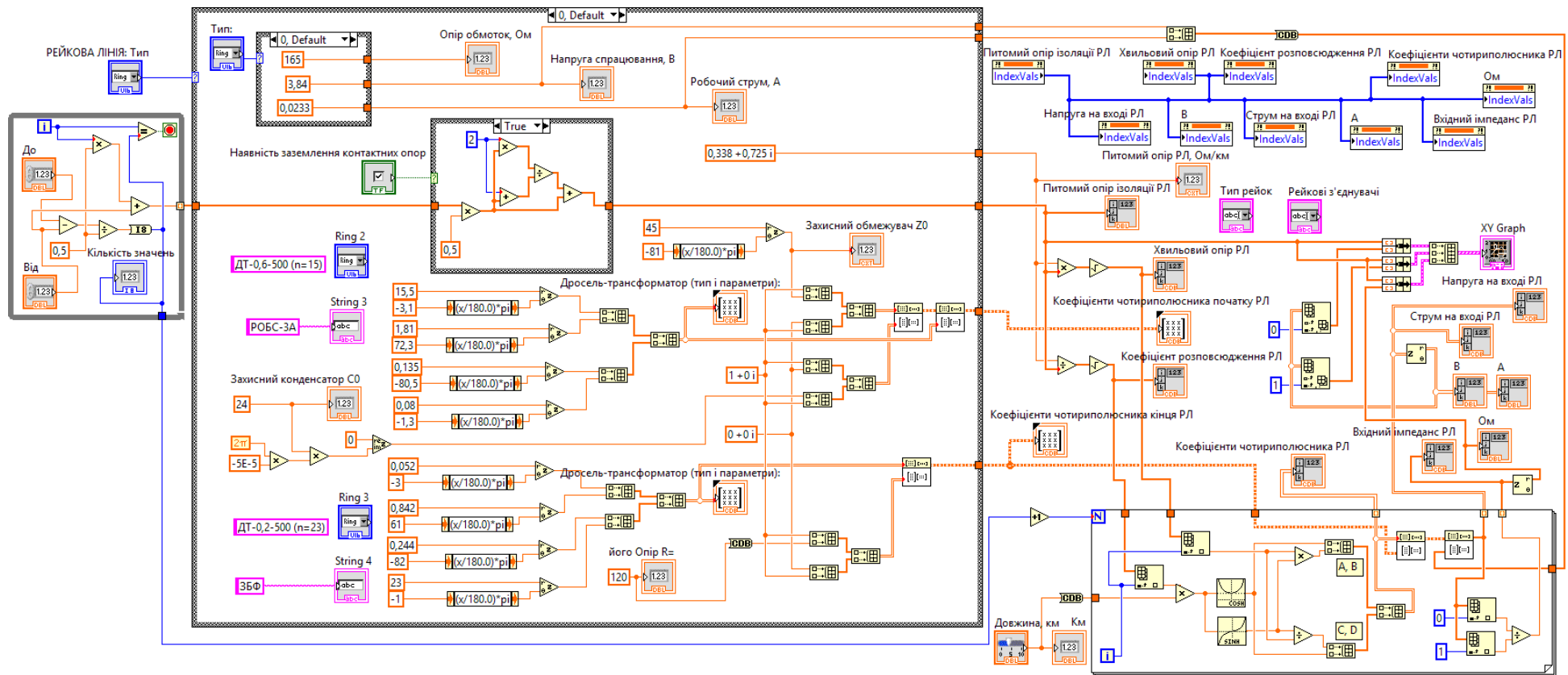


Рисунок В.2 – Вигляд вікна програми визначення ознак рейкового кола

Лістинг програми визначення основних параметрів петель прямокутної та квадрूपольної форм

Визначення основних параметрів петель
прямокутної та квадрूपольної форм

Питомий опір міді (провідників)

Кабель

Засипка

Відносна діелектрична проникність матеріалу засипки

Тангенс кута втрат матеріалу засипки

Ширина пропилю

Провідники

Відносна діелектрична проникність ізоляції провідника

Відстань між провідниками (діаметр із ізоляцією)

Радіус провідника петлі

Петля

Довжина та ширина петлі

Довжина провідника петлі прямокутник - $2a+2b$;
квдрूपоль $4a+2b$

Провід

Засипка

Відносна діелектрична проникність матеріалу засипки

Тангенс кута втрат матеріалу засипки

Ширина пропилю

Провідники

Відносна діелектрична проникність ізоляції провідника

Відстань між провідниками (діаметр із ізоляцією)

Радіус провідника петлі

Петля

Довжина та ширина петлі

Довжина провідника петлі прямокутник - $2a+2b$;
квадрат - $4a+2b$

Частота, на якій визначаються опори та добротність

Кількість витків петлі

Кількість частот

Задаю функції

Внутрішність

Зовнішність

Індуктивність провідника
із довжиною a та радіусом b
або взаємна індуктивність двох
провідників із довжиною a
та віддаллю між ними b

Взаємна індуктивність
двох провідників із
довжинами a та b

Активний опір провідника

Реактивний (індуктивний) опір провідника

Реактивний (ємнісний) опір провідника

Товщина скін-шару провідника

Еквівалентний радіус провідника

Скін - ефект проявлятиметься на частотах, більших від:

Ємність петлі

Прямокутник

Квадруполь

Внутрішність

Зовнішність

Індуктивність петлі

для прямокутника

для квадруполя

Опір петлі

прямокутник

квадруполь

Власні частоти петлі

Добротність петлі

Розрахунок індуктивності та ємності з'єднуювальних провідників

Приймаю довжину провідників

Ємність

Індуктивність

Ємність петля+провідники

Індуктивність петля+провідники

Власні частоти петлі

Опір провідників

Опір петля+провідники

Добротність

Збираємо для Excel