

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

ГОЛОЛОВА ОКСАНА ОЛЕКСІЇВНА

УДК 656.259.2 (043.3)



УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ  
АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Галузь знань 27 – транспорт

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2021

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана в Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор фізико-математичних наук, професор  
**ГАВРИЛЮК Володимир Ілліч**,  
Дніпровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
завідувач кафедру «Автоматика та телекомунікації»

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**БАБАЄВ Михайло Михайлович**,  
Український державний університет залізничного  
транспорту, завідувач кафедру «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент  
**БАЛАХОНЦЕВ Олександр Васильович**,  
Національний технічний університет «Дніпровська  
політехніка», доцент кафедри «Електропривод»

Захист відбудеться «23» квітня 2021 р. о 13 годині 30 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д08.820.02 при Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2 та на сайті <http://ndch.dit.edu.ua/> (Наука – Захисти у спеціалізованій раді Д08.820.02).

Автореферат розісланий «19» березня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
доктор технічних наук, професор



І. В. Жуковицький

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Залізничний транспорт в Україні забезпечує перевезення десятки тисяч пасажирів і мільйони тон вантажів, являючи собою один з найпопулярніших видів транспорту. Безпека на залізничному транспорті та його безперебійна робота значно залежить від надійності роботи засобів залізничної автоматики та зв'язку. При цьому особлива роль у забезпеченні ефективної та безпечної роботи залізниць належить системам інтервального регулювання руху поїздів (ІРРП), до складу яких входить автоматична локомотивна сигналізація (АЛС). Надійна робота системи АЛС виключає можливість зіткнення поїздів при порушенні інтервалів та перевищенні припустимих швидкостей руху. Проте на безперебійність функціонування системи АЛС впливає велика кількість електромагнітних завад різного походження, а також зношеність колійних і локомотивних пристроїв, що стає причиною появи збоїв та відмов у роботі. При цьому на даний час, особливо на ділянках впровадження руху поїздів зі швидкостями вище 120 км/год, фіксується значне збільшення кількості завад і збоїв. Системи АЛСН, які найбільш розповсюджені на залізницях України, мають низьку надійність та інформативну здатність, що стає значною проблемою в умовах підвищення швидкості руху та впроваджені нових типів поїздів та локомотивів зі збільшеною потужністю та асинхронним тяговим приводом. До того ж технічне обслуговування та контроль параметрів апаратури в багатьох технологічних процесах, що забезпечують експлуатацію системи АЛС, відбувається електромеханіками вручну, що потребує значних затрат часу, а на результати перевірки великий вплив має людський фактор. Зношеність апаратури та неякісне виконання робіт працівниками, як засвідчує аналіз статистики відмов, на даний час є однією з головних причин, що призводить до збоїв та відмов в роботі системи. Розробка та впровадження засобів та методів автоматизації процесів перевірки та обслуговування систем безпеки на залізничному транспорті може корінним чином змінити ситуацію. Тому вирішення наукового завдання удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації залишається актуальним.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана у відповідності з положеннями Стратегії розвитку залізничного транспорту України до 2020 року, яка була схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року. Обраний напрям дослідження відповідає Концепції комплексної програми розвитку залізничного транспорту України на 2007-2020 р. Дисертаційна робота пов'язана з результатами науково-дослідних робіт, що виконані Дніпровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, і в яких дисертант брала участь у якості виконавця та увійшла до числа авторів звітів: «Розробка системи безперервного автоматизованого діагностування стрілочних переводів централізованих стрілок в умовах експлуатації на станції» з номером державної реєстрації 0110U000330, «Дослідження і розробка інтегрованої комп'ютерної системи оптимізації перевезень, енергозбереження, безпеки руху та інтелектуалізація процедур управління залізничним транспортом України» з номером державної реєстрації 0114U005164, «Наукове обґрунтування підвищення функціональної безпеки пристроїв залізничної автоматики шляхом

забезпечення електромагнітної сумісності з тяговою мережею» з номером державної реєстрації 0115U300280.

**Метою дисертаційної роботи** є вирішення наукового завдання удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації шляхом розробки і наукового обґрунтування методу моніторингу сигнального струму з використанням спектрального вейвлет-аналізу для своєчасного виявлення дефектів кодового струму АЛС та методу і засобу автоматизованого контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті.

**Завдання**, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

- провести аналіз принципів побудови різних систем ІРРП та визначити недоліки та переваги кожної з них в умовах експлуатації;
- провести аналіз причин виникнення збоїв та відмов у роботі АЛС, методів і засобів захисту від них;
- розробити комплексну математичну модель АЛС, що може бути покладена в основу дослідження роботи системи в умовах впливу різних завад та дестабілізуючих факторів;
- розробити та науково обґрунтувати метод для удосконалення моніторингу сигнального струму АЛС, що надасть змогу підвищити рівень завадозахищеності системи;
- провести аналіз існуючої технології обслуговування та перевірки працездатності системи АЛС на контрольному пункті з метою визначення недоліків у процесі обслуговування та напрямків їх вирішення;
- розробити і науково обґрунтувати спосіб автоматизованого контролю стану каналу АЛС на контрольному пункті, експериментально дослідити ефективність його застосування та запропонувати на цій основі удосконалену технологію перевірки стану каналу АЛС;
- розробити дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю стану каналу АЛС під час перевірки на контрольному пункті та дослідити його роботу в лабораторних умовах і при контролі технічного стану АЛС в локомотивному депо.

**Об'єкт дослідження** – процеси в автоматичній локомотивній сигналізації, які впливають на якість передачі сигнальної інформації в кабіну машиніста та технологія контролю технічного стану системи АЛС.

**Предмет дослідження** – засоби та методи автоматизації контролю технічного стану колійної та локомотивної підсистем АЛС.

**Методи досліджень.** Для отримання результатів дисертації були використані методи математичного моделювання, спектрального аналізу, числові, фізичного моделювання, натурного випробування, цифрової обробки сигналів, комплексне перетворення Фур'є та вейвлет-перетворення, статистичного аналізу, вимірні методи, теорія чотириполюсника:

- математичне моделювання каналу зв'язку між рейковим колом та входними пристроями системи АЛСН використане з метою дослідження роботи системи АЛСН в умовах дії різних завад;
- числові методи для визначення частоти виникнення типових відмов та збоїв;

- комплексне перетворення Фур'є та вейвлет-перетворення використані для розпізнавання наявності завад в сигнальному струмі за спектральним складом під час декодування коду;

- методи статистичного аналізу появи збоїв та відмов у роботі системи АЛС використано для обґрунтування можливості вирішення задачі підвищення завадостійкості системи шляхом автоматизації технічного огляду та зменшення впливу людського фактору;

- комп'ютерні технології та програмне забезпечення для технічного визначення стану каналу АЛС на контрольному пункті, які виконують запис, відтворення і аналіз вимірних за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) результатів вимірювання тривалості та інтенсивності горіння ламп локомотивного світлофору та правильності показань на ньому;

- в експериментальних випробуваннях використовувалися методи фізичного моделювання, натурного випробування, цифрової обробки сигналів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у розробці нових науково-обґрунтованих методів удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації шляхом використання методу аналізу сигнального струму за спектральним складом та подальшого розвитку існуючих засобів автоматизації виконання технічного огляду системи АЛС на контрольному пункті. Отримані наступні наукові результати:

- вперше розроблено і науково обґрунтовано метод моніторингу сигнального струму локомотивної сигналізації з використанням спектрального вейвлет-аналізу, що дозволяє оперативно виявляти дефекти кодового струму АЛС;

- вперше розроблено та науково обґрунтовано метод автоматизації періодичного контролю працездатності локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті дистанції сигналізації та зв'язку з використанням апаратно-програмного комплексу, який контролює достовірність передачі і декодування сигналів АЛС з кабіни машиніста порівнянням їх із сигналами від колійних пристроїв, що дозволяє усунути людський вплив, підвищити якість технічного контролю, зменшити час та матеріальні витрати на його проведення;

- удосконалено математичну модель каналу зв'язку між рейковим колом і входними пристроями АЛСН, яка на відміну від існуючих, враховує характеристики системи і зміни первинних параметрів рейкової лінії в процесі експлуатації та під дією різного роду зовнішніх дестабілізуючих факторів, що дозволяє оперативно виявляти причини виникнення збоїв АЛСН;

- отримав подальший розвиток метод контролю впливу електромагнітних завад від ЛЕП на роботу локомотивних пристроїв АЛСН, який відрізняється від існуючих вимірюванням електричних завад в кодових сигналах АЛСН різного виду (З, Ж, ЧЖ) з одночасним вимірюванням електромагнітного поля вздовж залізничної колії на дільниці зближення з ЛЕП з наступним проведенням спектрального аналізу.

**Достовірність одержаних результатів** та висновків підтверджується задовільною відповідністю результатів математичного моделювання з результатами експериментальних досліджень.

**Практичне значення отриманих результатів.** Наукові результати, здобуті в дисертації дозволили розробити новий автоматичний метод контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті без

необхідності використання ручної праці, результатом застосування якого є електронний протокол, що засвідчує проведення перевірки працездатності системи АЛС. Проведені дослідження надали змогу:

- розробити та створити спосіб контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті;
- розробити пристрій та створити дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті;
- підвищити якість технічного обслуговування системи АЛС шляхом удосконалення технології перевірки працездатності каналу системи на контрольному пункті;
- використати розроблений спосіб контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації при розробці цифрового дешифратора АЛС нового покоління з покращеними характеристиками заводо захищеності.

Основні результати досліджень передані для використання в Запорізьку дистанцію сигналізації та зв'язку (АТ «Укрзалізниця» регіональна філія «Придніпровська залізниця») та впроваджені в навчальному процесі Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Використання результатів роботи дозволить удосконалити технологію обслуговування системи АЛС на контрольному пункті шляхом підвищення ефективності її технічного обслуговування завдяки застосуванню методу автоматизованого контролю.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, які наведено в додатках до дисертаційного дослідження.

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, наведені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто або за його безпосередньої участі. Обробка отриманого матеріалу, формулювання наукових положень і висновків, підготовка публікацій і доповідей також проводились автором особисто. Постановку мети та задач дослідження виконано спільно з науковим керівником.

Усі положення та результати, що виносяться на захист дисертації, приведені в роботах [1-33], які надруковані у відкритій пресі. Дисертантом опубліковано особисто розробку математичної моделі вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації, моделювання індуктивного сполучення локомотивних пристроїв АЛСН з рейковим колом та виконані дослідження роботи системи в умовах завод [2, 5, 8]. В роботах опублікованих у співавторстві, дисертанту належать: побудова математичної моделі каналу зв'язку між рейковим колом і вхідними пристроями АЛСН [1]; застосування розроблених методів моделювання в електромеханічних системах [3]; визначення методів удосконалення аналізу сигнального струму АЛС з використанням комплексного перетворення Фур'є та вейвлет-перетворення, виконано порівняльний аналіз застосованих різновидів спектрального аналізу та сформульовані висновки щодо їх застосування при обробці даних, записаних вагоном-лабораторією, або при дешифрації сигналів АЛС [4]; використання спектрального аналізу складу струму при діагностиці стану стрілочних переводів [6]; дослідження впливу

високовольтних ліній електропередач на появу збоїв та відмов у роботі АЛСН [7]; проведення аналізу методів обслуговування та контролю пристроїв автоблокування [9]; розробка способу контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті [10]; розробка пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті [30]; проведення аналізу існуючих шляхів підвищення безпеки руху поїздів [31]; використання цифрових засобів у процесі технічної діагностики пристроїв [32]; застосування розроблених методів визначення діагностичних ознак відмов для пристроїв залізничної автоматики [33].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень доповідалися і були схвалені на: IX, X, XIII, XIV міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті» (Дніпро, ДНУЗТ, 2015, 2016, 2019, 2020); 74, 75, 76, 79, 80 міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2014, 2015, 2016, 2019, 2020); всеукраїнських конференціях студентів та молодих вчених «Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті» (Дніпро, ДНУЗТ, 2013, 2014, 2020); 2-й міжнародній науково-практичній конференції «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті» (Львів, Львівська філія ДНУЗТ, 2019); V, VIII міжнародних науково-практичних конференціях «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (с.м. Чинадієво, Чернівці, ДНУЗТ, 2012, 2017), VII Міжнародній науково-практичній конференції (с. Розлуч, ДНУЗТ, 2016), всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів «Енергетика, енергозбереження на початку XXI століття» (м. Маріуполь, ДВНЗ «ПДТУ» 2014), міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми розвитку інтелектуальних систем транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2014).

В повному обсязі дисертація доповідалась на міжкафедральному науковому семінарі у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (2020 р).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 33 наукові праці, з них: 1 наукова стаття у закордонному електронному виданні, що входить до наукометричної бази Web of Science, 1 наукова стаття в іноземному фаховому виданні (без співавторів), 10 наукових статей у фахових виданнях, які входять до переліку Міністерства освіти і науки України та включені до міжнародних наукометричних баз (з них 2 без співавторів), 2 патента на корисну модель, 14 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях, 4 тези доповідей на всеукраїнських конференціях студентів та молодих вчених та 1 теза доповіді на всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів.

**Структура й обсяг дисертації.** Повний обсяг викладено на 215 сторінках, і включає 156 сторінок основної частини, 93 рисунки та 10 таблиць. Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (187 найменувань на 23 сторінках), додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації, сформульована мета та задачі дослідження, а також показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Сформульовано наукову новизну та практичне значення результатів робіт, наведено відомості про апробацію отриманих результатів досліджень та їх публікації.

У першому розділі виконано аналітичний огляд систем безпеки руху поїздів, що експлуатуються в Україні та закордоном. Проаналізовано статистику відмов пристроїв сигналізації на залізницях України за останні п'ять років, окремо – відмови і збої у роботі АЛС, включаючи статистику збоїв систем безпеки швидкісних поїздів. Проведена класифікація основних причин, що впливають на передавальну та приймальну апаратуру АЛС і обумовлюють появу великої кількості завад, а також методи і засоби захисту від них.

Значний вклад в розвиток теорії, розробку, удосконалення систем безпеки руху поїздів та технології їх обслуговування внесли такі вчені: А. А. Казаков, А. А. Леонов, В. С. Аркатов, Н. Ф. Котляренко, А. М. Брилеєв, Ю. А. Кравцов, Л. Є. Венцевич, А. В. Волошин, В. І. Бервинов, Є. Ю. Доронін, В. І. Шаманінов, В. М. Лісенкова. Серед вітчизняних вчених необхідно відмітити М. М. Бабаєва, М. М. Чепцова, В. О. Сотника, С. В. Кошевого, М. С. Кошевого, А. Б. Бойніка, Ю. В. Соболева, В. І. Гаврилюка, О. М. Ананьєву, Т. М. Сердюк.

Аналітичний огляд систем безпеки руху поїздів показав, що найчастіше в Україні експлуатується автоматична локомотивна сигналізація неперервної дії (АЛСН). Ця система побудована на електромагнітних реле з використанням числового коду і, незважаючи на ряд модернізацій, має істотні недоліки. Через ці недоліки АЛСН не має можливості використовувати в якості основного засобу регулювання руху на ділянках без прохідних світлофорів та на ділянках з прискореним рухом поїздів. Проведений статистичний аналіз надійності роботи всіх пристроїв залізничної автоматики, включаючи систему АЛС виявив, що кількість збоїв і відмов впродовж дослідних п'яти років залишається стабільно високою. Окрім того на дільницях з підвищеними швидкостями руху поїздів спостерігається тенденція до зростання кількості збоїв та відмов у роботі системи АЛС. Основними причинами цього стосовно об'єктів локомотивної системи є несправність дешифраторів, підсилювачів і локомотивних фільтрів, а основною причиною залишається зношеність апаратури. Проведений аналіз та класифікація зовнішніх причин, що призводять до порушень у роботі системи, показав наявність великої кількості дестабілізуючих факторів, які впливають на надійність роботи АЛС, а саме намагніченість рейок, недостатня довжина рейкових кіл, неправильне регулювання рейкових кіл, електромагнітні завади та ін. При цьому виявилось, що збої, викликані впливом ліній електропередач, постійно повторюються, а існуючі способи захисту не здатні повністю нівелювати негативний вплив ЛЕП на роботу АЛС, і особливо заважають роботі системи в умовах підвищення швидкості руху поїздів. На підставі проведеного аналітичного огляду наукових праць сформульовано мету, визначено основні завдання дослідження, обрано порядок та методи їх розв'язання.

У другому розділі проведено експериментальні дослідження функціонування автоматичної локомотивної сигналізації в умовах впливу



високовольтних ліній електропередач (ЛЕП), побудована комплексна математична модель каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН, за допомогою якої досліджено поведінку системи під дією різних за походженням завад.

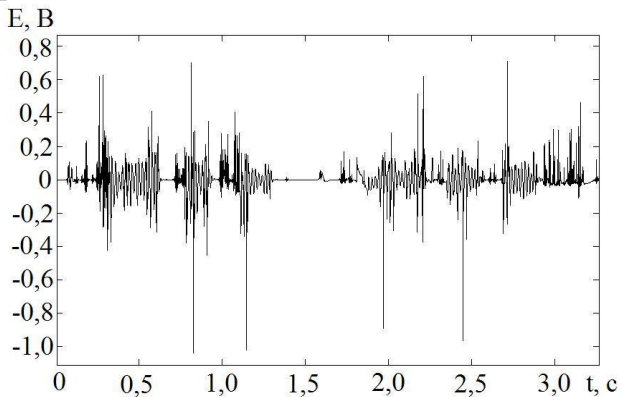


Рисунок 1 – Сигнальний струм коду 3 під впливом завад від ЛЕП

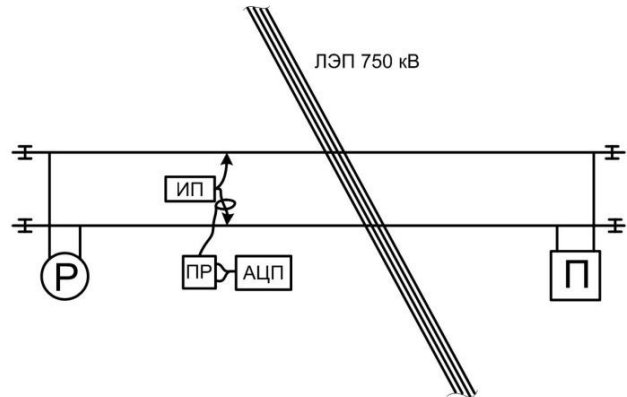


Рисунок 2 – Схема підключення для організації вимірювань

Проблема захисту від впливу ЛЕП особливо актуальна на ділянках з електричною тягою постійного струму та автономною тягою, коли пристрої локомотивної сигналізації працюють на частоті 50 Гц і методи частотного розділення сигналу і гармонійної завади не застосовуються. Виявлено, що вплив ЛЕП умовно можна поділити на прямий і непрямий. Були проведені експериментальні дослідження впливу ліній електропередач (750 кВ, 50 Гц) на сигнальний струм системи АЛСН в реальних умовах в місцях косої перетину залізничних колій на перегоні Пришиб-Бурчацьк в Запорізькій області (електрична тяга постійного струму) та на перегоні Привільне-Єлизарове Придніпровської залізниці (автономна тяга) засобами вагон-лабораторії і безпосередньо на рейкових лініях, які підтвердили, що рівень завади на даних дільницях колії визначається в основному непрямим впливом. В процесі проведення експериментальних досліджень отримав подальший розвиток метод контролю впливу електромагнітних завад від ЛЕП на роботу локомотивних пристроїв АЛСН, який відрізняється від існуючих вимірюванням електричних завад в кодових сигналах АЛСН різного виду (З, Ж, ЧЖ) з одночасним вимірюванням напруженості електромагнітного поля в діапазоні промислової частоти вздовж залізничної колії на дільниці зближення з ЛЕП з наступним проведенням спектрального аналізу. Результати вимірювань сигнального струму коду зеленого вогню вагоном-лабораторією служби сигналізації та зв'язку Придніпровської залізниці представлені на рис. 1. У дослідженні впливу ЛЕП був застосований метод з використанням амперметра Ц-4380 з внутрішнім опором 0,06 Ом та щупів, якими було короткочасно зашунтоване рейкове коло. На один з щупів був одягнений пояс Роговського, який підключався до аналого-цифрового перетворювача. Схема підключення представлена на рис. 2, де ИП – вимірний пристрій Ц4380; ПР – пояс Роговського; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; П, Р – живильний та релейний кінець рейкового кола відповідно.

Розроблена комплексна математична модель каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН, за допомогою застосування імітаційного комп'ютерного моделювання з використанням середовища Simulink пакету MatLAB (рис. 3). Розглянуто структуру та визначені параметри кожного вузла

системи АЛСН, проведено дослідження каналу передачі сигналу на локомотив та впливу неоднорідностей рейкової лінії на приймання сигналів АЛСН, проаналізовані фізичні процеси в системі індуктивного зв'язку приймальних котушок і рейок, розраховане значення взаємної індуктивності між ними. Наведена математична модель сигналу, що складається з сигнального струму і струму завади, який протікає по рейках і через індуктивний канал зв'язку потрапляє на вхід локомотивного приймача системи, аналітично описані імпульсні завади від локальних магнітних неоднорідностей рейкової лінії, квазігармонічна завада від ліній електропередач і стаціонарна випадкова завада, які адитивним чином об'єднані між собою. Для розробки адекватної математичної моделі системи передачі інформації з рейки на локомотив було розраховане значення взаємної індуктивності між рейками та приймальними котушками. Кілометричний активний опір рейкової нитки складається з двох складових: опору постійному струму  $R_a^-$ ; і опору змінному струму  $R_a^{\sim}$ . Остання складова визначається виразом:

$$R_a = \frac{2,8 \cdot \sqrt{\mu \cdot \rho \cdot \varphi}}{u} \quad (1)$$

де  $\mu = 100$  – відносна магнітна проникність рейкового кола;  
 $\rho = 0,21 \cdot 10^{-6}$  Ом·м – опір заліза рейкового кола;  
 $\varphi$  – частота струму рейкового кола;  
 $u$  – периметр поперечного розрізу рельс.

Внутрішня кілометрична індуктивність рейкової нитки:

$$L_i \approx 0,0955 \cdot R_a / f \quad (2)$$

Для дослідження каналу передачі сигналу на локомотив зроблено виміри напруги та струму на приймальних котушках за допомогою амперметра та вольтметра. Отримані середні значення  $I = 0,0091$  А,  $U = 19,18$  В, які будемо підставляти в подальші розрахунки. Визначимо активний кілометричний опір рейкової нитки змінному струму за формулою (1):

$$R_a = \frac{2,8 \cdot \sqrt{100 \cdot 0,21 \cdot 10^{-6} \cdot 50}}{0,070} = 1,296 \text{ Ом}$$

Внутрішню кілометричну індуктивність рейкового кола розрахуємо за формулою (2):

$$L_i \approx 0,0955 \cdot \frac{R_a}{f} = 0,0955 \cdot \frac{1,296}{50} = 4,947 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

Визначимо взаємну індуктивність з формули:

$$M = \frac{1}{2i\omega} \cdot \left[ \frac{U}{I} - R_a - R_k \right] + \frac{1}{2} L_i + \frac{1}{2} L_k \quad (3)$$

де  $L_k = 7,0$  Гн індуктивність котушки АЛСН;  
 $R_k = 120$  Ом опір котушки АЛСН.

Підставивши в формулу (3) значення, які обчислені раніше, отримаємо:

$$M1 = \frac{1}{2i\omega} \cdot \left[ \frac{19,18}{0,0091} - 1,296 - 120 \right] + \frac{1}{2} \cdot 4,947 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2} \cdot 7,0 = 3,16 \text{ Гн}$$

Наведені результати комп'ютерного моделювання сигналу на виході фільтра системи АЛСН при подачі на її вхід різних кодових комбінацій без спотворень. Досліджено характеристики імітаційної моделі вхідних пристроїв системи під впливом трьох типів завад: намагнічування кінців рейок, адитивної завади,

обумовленої близьким розташуванням ЛЕП, а також адитивної стаціонарної випадкової завади, що має гауссівську щільність розподілу ймовірностей миттєвих значень (рис. 4). Достовірність одержаних результатів та висновків підтверджується задовільною відповідністю результатів математичного моделювання результатам експериментальних досліджень, що визначає адекватність розробленої моделі. Створену модель пропонується використовувати для віртуальних випробувань з метою подальшого вивчення характеристик системи та розробки захисних заходів по підвищенню завадостійкості.

**У третьому розділі** розроблено і науково обґрунтовано метод моніторингу сигнального струму локомотивної сигналізації з використанням спектрального вейвлет-аналізу, що дозволяє оперативно виявляти дефекти кодового струму АЛС.

Проведений аналіз існуючих методів вимірювання і регулювання сигнального струму та часових параметрів коду в рейках показав, що можливо фіксувати лише обмежене число параметрів кодового струму, а точність контролю, яка регламентована галузевими інструкціями, не забезпечує необхідної достовірності результатів. Перспективними та продуктивними системами оцінки працездатності рейкових кіл та контролю параметрів сигнального струму АЛС є різні системи, що використовуються на базі вагон-лабораторій: «Контроль», «Колос», «Лелека» та ін., які відрізняються між собою способами обробки і збереження даних. За останні роки відбулося переоснащення вимірювальної апаратури вагон-лабораторії з реєстрацію сигнального струму на цифровому носії, але обробка записаних даних відбувається, як і раніше, шляхом перегляду часових та амплітудних параметрів візуальним аналізом. Це не дозволяє детально проаналізувати дані, визначити проблемні місця, а також на результати аналізу впливає суб'єктивний людський фактор, що є неприпустимим, особливо в умовах підвищення швидкості руху поїздів. Проаналізовані методи моніторингу сигнального струму локомотивної сигналізації шляхом спектрального аналізу, який надає більше важливої інформації про сигнал, що виявляється в його частотному складі. Порівняно методи спектрального аналізу з використанням класичного комплексного перетворення Фур'є та короткочасного перетворення Фур'є (віконне Фур'є перетворення) та сформульовані висновки щодо їх застосування при обробці даних.

Вперше розроблено і науково обґрунтовано новий метод моніторингу сигнального струму локомотивної сигналізації, в основу якого покладено декодування суміші сигналу та завади за допомогою спектрального вейвлет-аналізу, де вейвлети представлені різноманітними базовими функціями, властивості яких орієнтовані на рішення різних завдань. Даний метод має всі переваги перетворень Фур'є і ряд власних переваг, тому вони доповнюють один одного, і не є взаємовиключними. Перевагою вейвлет-аналізу є те, що вейвлети здатні з більш високою точністю представляти локальні особливості сигналу, забезпечувати двовимірну розгортку, при якій частота і координата розглядаються як незалежні змінні, що надає можливість оперативно виявляти дефекти кодового струму АЛС та аналізувати сигнал відразу в двох просторах як по частоті, так і за часом. Пропонується використовувати дискретне вейвлет-пакетне перетворення з максимальним перекриванням (MODWPT), яке дозволяє чітко визначати наявність і локалізацію у часі електромагнітних завад у довготривалих сигналах АЛС.

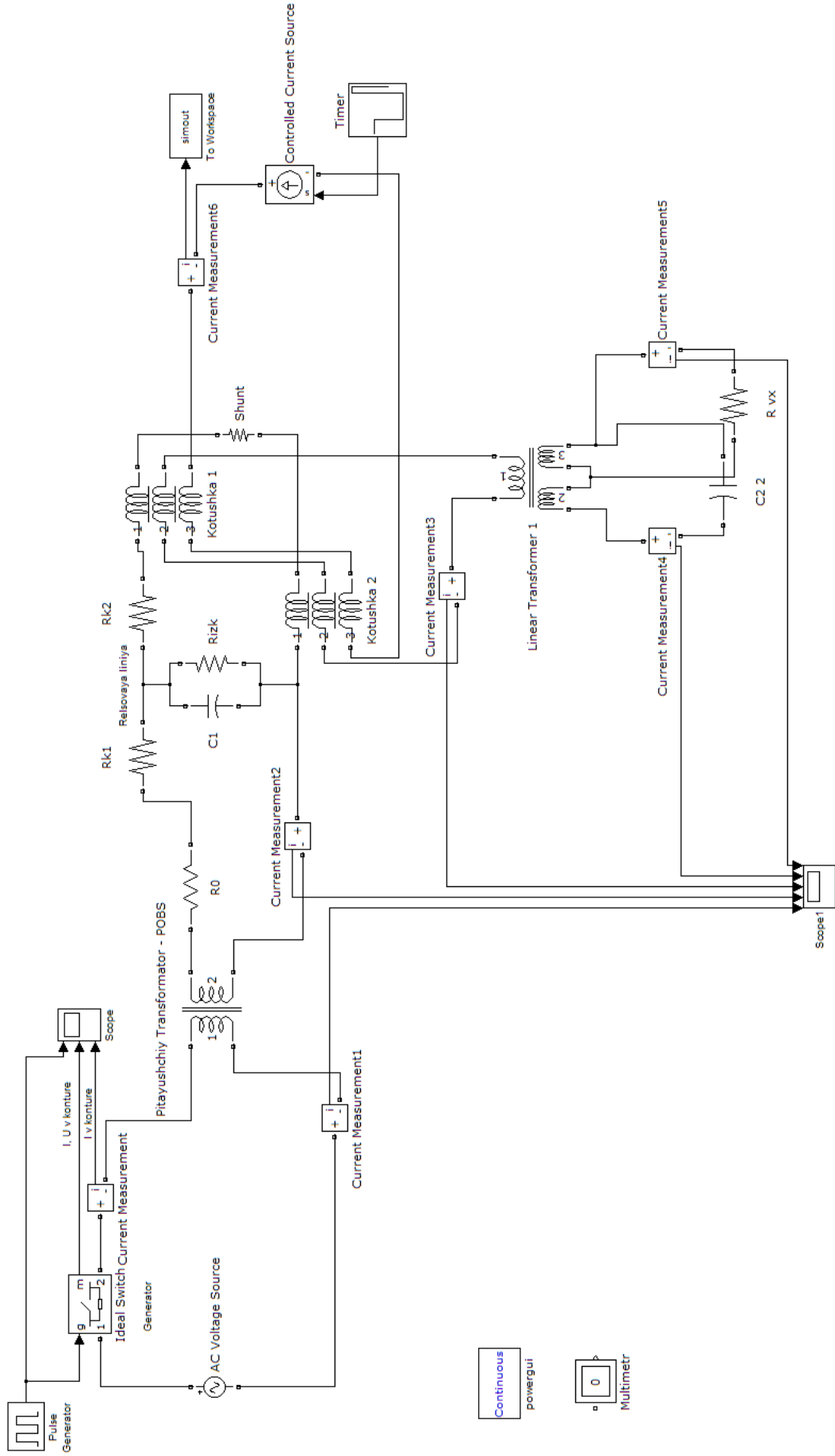


Рисунок 3 – Математична модель каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН

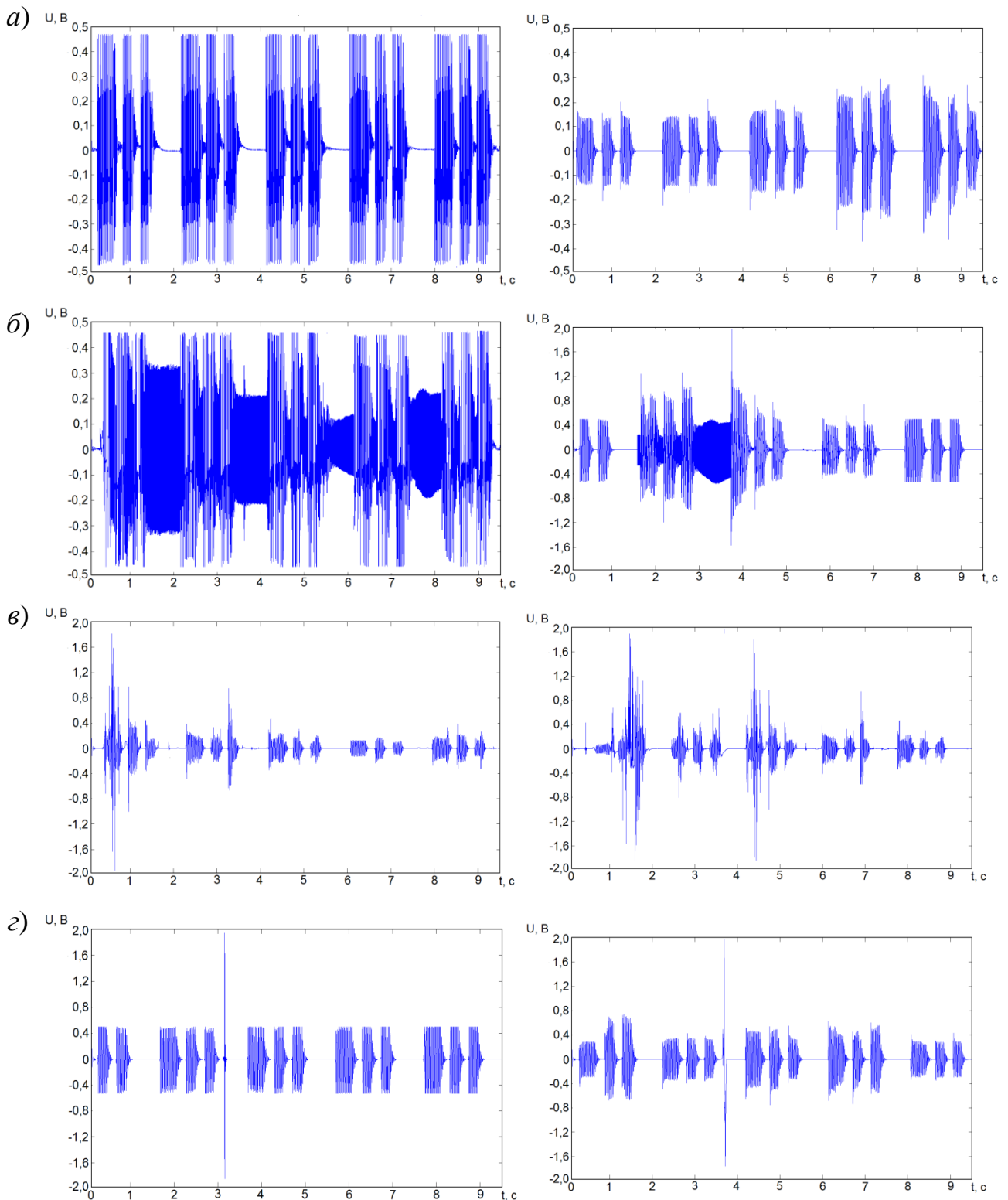


Рисунок 4 – Кодовий сигнал «3» на виході фільтру моделі (з лівої сторони) та вимірний вагоном-лабораторією (з правої сторони) в різних умовах: а) сигнальний кодовий струм без завад; б) під впливом стаціонарної випадкової завади; в) під впливом завад від ЛЕП; г) при намагніченості рейок

Проведені експериментальні дослідження сигнального струму АЛС коду зеленого вогню без завад за допомогою вейвлет-перетворення в пакеті MATLAB (рис. 5, а) та при наявності завад від ЛЕП і стаціонарної випадкової завади (рис. 5, б), а також показано графіки вейвлет-коефіцієнтів для обох випадків (рис. 5, в, г).

Виконано порівняльний аналіз отриманих даних, який підтверджує, що запропонований метод оптимізує процес обробки даних вагон-лабораторії і є перспективним для автоматичного аналізу сигнального струму АЛС в умовах підвищення швидкості руху поїздів. Таким чином, проведені дослідження показали ефективність вейвлет-перетворення при виявленні спотворень сигналів АЛС, викликаних дефектами колійних і локомотивних пристроїв АЛС, зовнішніми електромагнітними завадами та іншими дестабілізуючими факторами, що дозволяє своєчасно виявляти проблемні ділянки колії для запобігання виникненню небезпечних ситуацій під час руху поїзда.

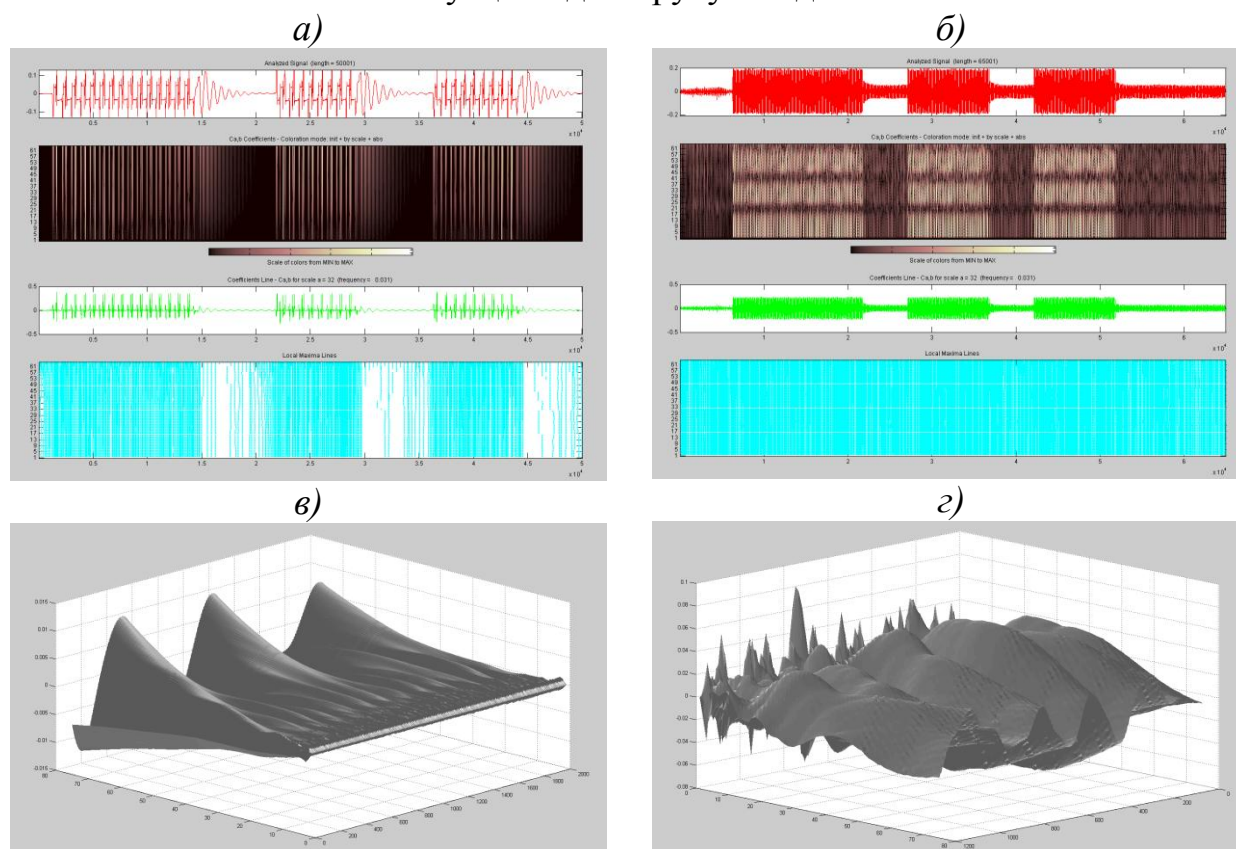


Рисунок 5 – Результати дослідження сигналів АЛС вейвлет-перетворенням: а) спектральний склад коду зеленого вогню при безперервному одновимірному вейвлет-перетворенні; б) спектральний склад коду зеленого вогню з шумом при безперервному одновимірному вейвлет-перетворенні; в) графік вейвлет-коефіцієнтів коду зеленого вогню при безперервному одновимірному вейвлет-перетворенні; г) графік вейвлет-коефіцієнтів коду зеленого вогню з шумом при безперервному одновимірному вейвлет-перетворенні

У четвертому розділі проведено аналіз технології обслуговування та контролю працездатності пристроїв системи АЛС, розроблено та науково-обґрунтовано метод автоматизації періодичного контролю працездатності АЛС, що включає в собі спосіб та пристрій контролю технічного стану локомотивних пристроїв системи, та удосконалює технологію обслуговування АЛС на контрольному пункті.

Якість перевірки АЛС пропонується підвищити шляхом розробки та наукового обґрунтування способу та пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті. Розроблено дослідний зразок пристрою автоматизованого контролю технічного стану локомотивних

пристроїв АЛС під час планового обслуговування в локомотивному депо, що являє собою апаратно-програмний комплекс, який реєструє зміни та контролює правильність показань локомотивного світлофора, вимірює тривалість та інтенсивність горіння ламп світлофора і автоматично формує електронний протокол-висновок щодо працездатності системи. Випробування спроектованого пристрою проводились в умовах спеціалізованої лабораторії кафедри «Автоматика та телекомунікації» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та в експлуатаційних умовах контрольно-вимірювальної ділянки локомотивного депо Дніпро-Головний (рис. 6). Отримані результати підтвердили, що застосування пристрою контролю дозволяє підвищити точність та достовірність вимірювань, автоматизує процес перевірки, усуває людський фактор, дає змогу накопичувати результати на електронному носії та зменшує загальний час, витрачений на виконання перевірки, а тому значно підвищує рівень технічного обслуговування локомотивів на контрольному пункті.

Таким чином, в роботі запропоновано дієві методи удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації, які покращують якість обслуговування локомотивних пристроїв, збільшують продуктивність праці та вдосконалюють заводозахисненість системи, позитивно впливаючи на безпеку руху на залізниці, що стає особливо важливим в умовах підвищення швидкості руху поїздів.



Рисунок 6 – Випробування пристрою контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС: а) в кабіні локомотива; б) в спеціалізованій лабораторії

У додатках наведено дані по розподілу збоїв АЛС швидкісних поїздів по залізницях та службах, список публікацій та відомості про апробацію результатів дисертації, а також довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи у Запорізькій дистанції сигналізації та зв'язку та навчальному процесі Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі запропоновано вирішення наукового завдання удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації шляхом розробки і наукового обґрунтування методу моніторингу сигнального струму з використанням спектрального вейвлет-аналізу для своєчасного виявлення дефектів кодового струму АЛС та методу і засобу

автоматизованого контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС на контрольному пункті.

Основні наукові результати полягають в наступному:

1. Найбільш розповсюджена на залізницях України система АЛСН на теперішній час є єдиною системою, що на додаток до автоматичного блокування, забезпечує безпеку руху поїздів на перегоні. Збої і відмови у її роботі займають достатньо велику частку серед усіх відмов пристроїв СЦБ, при цьому їх кількість значно зросла в останні роки в умовах підвищення швидкості руху поїздів. В 2019 році загальна кількість збоїв у роботі АЛС, віднесених за різними службами, становила 1330 випадків, з них майже половина – збої системи АЛС, що вплинули на рух швидкісних поїздів «ІНТЕРСІТІ» та «ІНТЕРСІТІ+», і становить 551 випадок.

2. Збої обумовлені багатьма факторами. Основними причинами з боку колійних пристроїв – є відхилення часових параметрів кодів АЛС від нормативних, а також електромагнітні завади різного походження у рейкових колах, в тому числі в місцях косої перетину з ЛЕП. На ряді доріг збої в районі перетину з ЛЕП займають до 50% всіх збоїв АЛС, а через заважаючий вплив магнітного поля рейок відбувається до 25-30% збоїв. Основними причинами з боку локомотивних пристроїв – є зношеність апаратури та неякісне обслуговування системи, обумовлене людською недбалістю. Тому вирішення наукового завдання удосконалення технології обслуговування АЛС, що призведе до підвищення якості виконання планових робіт, зменшення кількості збоїв та покращення показників надійності роботи локомотивних пристроїв в цілому, є актуальним.

3. Проведені експериментальні дослідження електромагнітного впливу ЛЕП на роботу локомотивних пристроїв АЛСН показали, що вхідний фільтр АЛСН має недостатню селективність, яка є причиною появи на виході фільтру завад з частотами близькими до сигнального струму. Максимальна ЕРС завади, що наводиться ЛЕП в приймальних котушках, може досягати 800 мВ, що еквівалентно заважаючому струму приблизно 5,5 А в рейках. Це підтверджує значний заважаючий вплив ЛЕП на роботу АЛСН, особливо в місцях косої перетину залізниць, та необхідність розробки дієвих засобів захисту від нього.

4. Розроблена комплексна математична модель каналу зв'язку між рейковим колом та вхідними пристроями АЛСН. Розраховані середні значення напруги та струму на приймальних котушках, які дорівнюють 9,1 мА та 19,18 В відповідно, активний кілометричний опір рейкової нитки змінному струму, який дорівнює 1,296 Ом, внутрішню кілометричну індуктивність рейкового кола, яка дорівнює  $4,947 \cdot 10^{-4}$  Гн. На основі цих результатів розрахунків визначено взаємну індуктивність між рейками і приймальними котушками АЛСН, яка дорівнює 3,16 Гн, що дозволило більш точно врахувати вплив електромагнітних завад на побудовану комплексну математичну модель каналу передачі кодів. Досліджено вплив на вхід системи АЛСН трьох різних за походженням видів електромагнітних завад: викликаного намагнічуванням кінців рейок і гостряків стрілок, обумовленої близьким розташуванням ЛЕП та стаціонарної випадкової, що має гауссівську щільність розподілу ймовірностей миттєвих значень.

5. Аналіз методів та засобів, що спрямовані на підвищення завадостійкості системи АЛС та застосовуються в теперішній час, показав, що планова



перевірка кодів АЛС за допомогою спеціальної вагон-лабораторії з подальшою обробкою записаних даних, виконується оператором вручну, потребує багато часу і не забезпечує необхідної точності: похибка при визначенні місцезнаходження ізостика становить кілька десятків метрів, а похибка при вимірюванні струму більше 20 А (до 30-50%). В результаті на аналіз даних має суттєвий вплив людський фактор, що є неприпустимим, особливо в умовах впровадження підвищених швидкостей руху поїздів. Тому подальше підвищення завадостійкості системи АЛС, можливе лише за умови розробки нових методів аналізу сигнального струму та впровадженні автоматизації контролю та перевірки працездатності системи в процесі її обслуговування;

6. Розроблено та науково обґрунтовано метод моніторингу сигнального струму АЛС, в основу якого покладено декодування сигналів під впливом завад за допомогою спектрального вейвлет-аналізу, застосування якого надає змогу оперативно розпізнавати в сигнальному струмі різні за походженням завади і визначати їх часову локалізацію. Використання запропонованого методу оптимізує процес обробки даних і є перспективним для автоматичного аналізу сигнального струму АЛС в умовах підвищення швидкості руху поїздів;

7. Запропоновано метод, який базується на розробленому способі та пристрої контролю технічного стану локомотивних пристроїв АЛС, використання яких в процесі обслуговування системи на контрольному пункті дозволяє скоротити час проведення перевірки майже в 4 рази. При цьому реєструються часові параметри кодів з точністю до тисячних секунди, запобігаючи необхідності проведення повторних вимірювань, фіксуються найменші проблиски вогнів світлофора, які можуть свідчити про наявність помилок у роботі системи, та без участі людини перевіряється достовірність передачі і декодування сигналів АЛС, автоматично надаючи висновок щодо працездатності системи. В результаті значно підвищується якість технічного контролю АЛС та збільшується продуктивність праці, що особливо важливо для безпеки руху на залізниці в умовах підвищення швидкості руху поїздів.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

**Публікації у наукових фахових виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:**

1. Oksana Hololobova, Serhii Buriak, Volodymyr Havryliuk, Ihor Skovron, & Oleksii Nazarov (2019). Mathematical modelling of the communication channel between the rail circuit and the inputs devices of automatic locomotive signalization. MATEC Web of Conferences Volume 294 (2019) 2nd International Scientific and Practical Conference “Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport” (EOT-2019). Retrieved [https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2019/43/matecconf\\_eot18\\_03009.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2019/43/matecconf_eot18_03009.pdf)

2. Гололобова О.О. Моделювання індуктивного сполучення локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації неперервного типу з рейковим колом / О.О. Гололобова // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Д.: ДНУЗТ, 2019. – Вип. 17. – С. 99-108.

3. Buriak S. Modeling of electromechanical systems / S. Buryak, V. Havriliuk, O. Hololobova // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – Д.: ДНУЗТ, 2018. – Вип. 16. – С. 43-50.

4. Hololobova O.O. Application of fourier transform and wavelet decomposition for decoding the continuous automatic locomotive signaling code / O.O. Hololobova, V.I. Navryliuk // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2017. – Вип. 1 (67). – С. 7-17.

5. Гололобова О.А. Исследование работы системы автоматической локомотивной сигнализации в условиях помех / О.А. Гололобова // Наука и транспорт. Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – Беларусь: БелГУТ, 2016. – Вип. 2 (33). – С. 126-129.

6. Буряк С.Ю. Дистанционное диагностирование состояния стрелочных переводов по временной характеристике и спектральному составу токовой кривой / С.Ю. Буряк, В.И. Гаврилюк, О.А. Гололобова, М.А. Коврыгин // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – Вип. 2 (56). – С. 39-57.

7. Hololobova O.O. Study of transmission lines effect on the system operation of continuous automatic cab signalling / O.O. Hololobova, V.I. Navryliuk, M.O. Kovryhin, S.Yu. Buriak // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 5 (53). – С. 17-28.

8. Гололобова О.О. Математичне моделювання вхідних пристроїв системи автоматичної локомотивної сигналізації / О.О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 2 (50). – С. 21-30.

9. Безнаритний А.М. Аналіз стану пристроїв автоблокування, методів його обслуговування та контролю / А.М. Безнаритний, В.І. Гаврилюк, О.О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. Вип. 1 (49). – С. 22-32.

10. Пат. 107472 Україна, МПК В61L 25/06 (2006/01) Спосіб контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті / Гололобова О.О., Гаврилюк В.І., Буряк С.Ю. (Україна); заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2015 11682 заявл. 26.11.15.; опубл. 10.06.16, Бюл. № 11.

#### **Праці апробаційного характеру:**

11. Гололобова О.О. Дослідження перешкод АЛС. Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті / Тези XIV Міжнародної науково-практичної конференції. Секція Автоматизовані системи управління на транспорті і в промисловості (Дніпро, 15-16 грудня 2020 р.) – Д.: ДПТ. 2020. – С. 19-20.

12. Буряк С.Ю., Гололобова О.О. Причини збоїв автоматичної локомотивної сигналізації та методи боротьби з ними / Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 80 Міжнародної науково-практичної конференції. Секція 6 Автоматизовані системи управління на транспорті (Дніпро, 23-24 квітня 2020 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2020. – С. 133-135.

13. Коваленко А.О., Гололобова О.О. Різновиди автоматичного контролю за рухом потяга та пильністю машиніста / Інформаційно-управляючі технології та

системи на залізничному транспорті: тези Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених; за ред. ст. вик. Паніка Л.О. та Дзюби В.В. Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна (Дніпро, 23-27 березня 2020 р.) – Д.: Вид-во Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2020 – С. 41-42.

14. Міщенко М.О., Гололобова О.О. Вдосконалення перевірки роботи системи АЛС та їх подальші перспективи / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: тези Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених; за ред. ст. вик. Паніка Л.О. та Дзюби В.В. Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна (Дніпро, 23-27 березня 2020 р.) – Д.: Вид-во Дніпровського нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2020 – С. 49-50.

15. Гололобова О.О. Випробування математичної моделі роботи індуктивного зв'язку системи автоматичної локомотивної сигналізації / Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: тези XIII Міжнародної науково-практичної конференції. Секція Інформаційна безпека (Дніпро, 11-12 грудня 2019 р.) – Д.: ДІТ. – 2019. – С. 197-198.

16. Гололобова О.О., Буряк С.Ю., Гаврилук В.І, Возняк О.М. Причини відмов пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації / Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті: матеріали 2-ї Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 19-20 вересня 2019 р.) – Львів: Львівська філія ДНУЗТ, 2019. – С. 21-22.

17. Гололобова О.А., Ямбург К.О. Повышение безопасности движения поездов путем улучшения систем мониторинга локомотивной бригады / Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 79 Міжнародної науково-практичної конференції. Секція 6 Автоматизовані системи управління на транспорті (Дніпро, 16-17 травня 2019 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2019. – С. 210-211.

18. Гололобова О.А. Повышение помехоустойчивости системы АЛС / Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: тези VIII Міжнародної науково-практичної конференції (Чернівці, 01-03 лютого 2017 р.) – Дніпро, Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2017. – С. 24.

19. Гололобова О.А. Повышение помехоустойчивости канала АЛС / Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании: тезисы X Международной научно-практической конференции. Секция 1 Автоматизированные системы управления на транспорте (Днепропетровск, 14-15 декабря 2016 г.) – Д.: ДИИТ. – 2016. – С. 34.

20. Буряк С. Ю., Гололобова О.А. Неисправности колесных пар и методы их обнаружения / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 76 Международной научно-практической конференции. Секция 6 Автоматизированные системы управления на транспорте (Днепропетровск, 19-20 мая 2016 г.) – Д.: ДИИТ. – 2016. – С. 149-150.

21. Буряк С.Ю., Гололобова О.О. Определение повреждений поверхности катания колес во время движения / Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: тези VII Міжнар. науково-практичної конф. (с. Розлуч, 16-19 лютого 2016 р.) – Д.: ДІТ. – 2016. – С. 17-18.

22. Гололобова О.А. Применение вейвлет-преобразования для дешифрации кода АЛСН / Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании: тезисы IX Международной научно-практической конференции. Секция 2 Системы управления технологическими

процессами, микропроцессорные системы (Днепропетровск, 16-17 декабря 2015 г.) – Д.: ДИИТ. – 2015. – С. 43.

23. Гололобова О.О. Автоматизация технического обслуживания устройств автоматической локомотивной сигнализации / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 75 Международной научно-практической конференции. Секция 7 Автоматизированные системы управления на транспорте (Днепропетровск, 14-15 мая 2015 г.) – Д.: ДИИТ. – 2015. – С. 196.

24. Гололобова О.А. Электромагнитная совместимость устройств автоматической локомотивной сигнализации / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 74 Международной научно-практической конференции. Секция 7 Автоматизированные системы управления перевозок (Днепропетровск, 15-16 мая 2014 г.) – Д.: ДИИТ. – 2014. – С. 224-226.

25. Гололобова О.А. Работа автоматической локомотивной сигнализации в условиях влияния токов линий электропередач / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: тези Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених. – Д.: ДНУЗТ. – 2014. – С. 62-63.

26. Гололобова О.А. Устройства автоматической локомотивной сигнализации в условиях отказов рельсовых цепей / Энергетика, энергобережения на початку ХХІ століття: тези докладів Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів (Маріуполь, 20 березня 2014 р.) – Маріуполь.: ДВНЗ «ПДТУ». – 2014. – С. 111-113.

27. Гололобова О.А. Исследование причин сбоев в работе рельсовых цепей и их влияния на устройства автоматической локомотивной сигнализации / Современные проблемы развития интеллектуальных систем транспорта: тезисы Международной научно-практической конференции (Днепропетровск, 27-31 января 2014 г.) – Д.: ДИИТ. – 2014. – С. 29-30.

28. Гололобова О.О. Переваги використання математичної моделі при вивченні роботи АЛС / Інформаційно-управляючі технології та системи на залізничному транспорті: матеріали молодих вчених та студентської конференції; за ред. ст. вик. Дзюби В.В. та Паніка Л.О.; Дніпроп. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – С. 83-84.

29. Гололобова О.А. Методы контроля помех в АЛСН / Безопасность и электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте: тезисы V Международной научно-практической конференции (пгт. Чинадиево, 14-17 февраля 2012 г.) – Д.: ДИИТ. – 2012. – С. 24-25.

#### **Додаткові праці, які відображають наукові результати дисертації:**

30. Пат. 146189 Україна, МПК В61L 25/06 (2006/01) Пристрій контролю технічного стану локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті / Гололобова О.О. (Україна); заявник та патентовласник Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2020 00066 заявл. 02.01.2020.; опубл. 27.01.2021, Бюл. № 4.

31. Samosvat V.O. Features of design of tied-arch bridges with flexible inclined suspension hangers / V.O. Samosvat, Zhang Rongling, O.O. Hololobova, S.Y. Buriak // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2017. – Вип. 5 (71). – С. 131-140.

32. Буряк С.Ю. Впровадження системи технічної діагностики стрілочних переводів / С.Ю. Буряк, В.І. Гаврилюк, О.О. Гололобова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – Вип. 3 (57). – С. 7-22.

33. Буряк С.Ю. Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока / С.Ю. Буряк, В.И. Гаврилюк, О.А. Гололобова, А.М. Безнарытний // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – Вип. 4 (52). – С. 7-22.

### АНОТАЦІЯ

Гололобова О. О. Удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, Дніпро 2021.

Дисертація присвячена вирішенню завдання удосконалення технології обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації.

Проведено аналітичний огляд систем безпеки руху поїздів та статистики відмов АЛС. Проаналізовані причини появи завад в сигнальному струмі, а також методи і засоби захисту від них. Проведено експериментальні дослідження впливу ЛЕП на роботу АЛС. Побудована комплексна математична модель каналу зв'язку між рейковим колом та входними пристроями АЛСН, за допомогою якої досліджено роботу системи під впливом завад. Розроблено та науково обґрунтовано метод моніторингу струму АЛС з використанням спектрального вейвлет-аналізу, що дозволяє оперативно виявляти дефекти кодів. Розроблено метод автоматизованого контролю працездатності АЛС, який включає спосіб та пристрій контролю технічного стану локомотивних пристроїв на контрольному пункті.

Отримані в дисертаційній роботі результати вирішують наукове завдання удосконалення технології обслуговування АЛС, завдяки чому покращується завадозахищеність та якість обслуговування системи, що особливо важливо в умовах підвищених швидкостей руху поїздів.

*Ключові слова:* удосконалення технології обслуговування, автоматична локомотивна сигналізація, відмови, збої, спектральний аналіз, вейвлет-перетворення, пристрій контролю технічного стану локомотивних пристроїв, контрольний пункт.

### АННОТАЦИЯ

Гололобова О. А. Усовершенствование технологии обслуживания автоматической локомотивной сигнализации – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна, Днепр 2021.

Диссертация посвящена решению научно-прикладного задания усовершенствования технологии обслуживания автоматической локомотивной

сигнализации путем разработки и научного обоснования метода мониторинга сигнального тока с использованием спектрального вейвлет-анализа для выявления дефектов кодового тока АЛС и метода автоматизации периодического контроля работоспособности локомотивных устройств АЛС на контрольном пункте.

Проведен аналитический обзор систем безопасности движения поездов, которые эксплуатируются в Украине и зарубежом. Проанализировано статистику отказов устройств сигнализации на железных дорогах Украины за последние пять лет. Отдельно рассмотрена статистика отказов и сбоев в работе системы АЛС, включая количество сбоев системы скоростных поездов «Интерсити», «Интерсити+». Проведена классификация основных причин, влияющих на аппаратуру АЛС и обуславливающих появление большого количества различных помех в сигнальном токе, а также существующие методы и средства защиты от них.

Проведены экспериментальные исследования влияния высоковольтных линий электропередач (ЛЭП) на работу системы АЛС в местах косоугольного пересечения железных дорог в реальных условиях эксплуатации на перегоне Пришиб-Бурчацк в Запорожской области (электротяга постоянного тока) и на перегоне Привольное-Елизарово Приднепровской железной дороги (автономная тяга) средствами вагон-лаборатории и непосредственно на рельсовых линиях. Получил дальнейшее развитие метод контроля влияния ЛЭП на работу локомотивных устройств, который отличается от существующих измерением электрических помех в кодовых сигналах АЛС разного вида (З, Ж, КЖ) с одновременным измерением электромагнитного поля вдоль железнодорожной линии на участке приближения к ЛЭП с последующим проведением спектрального анализа. Рассмотрена структура и определены параметры каждого узла системы АЛСН, проведено исследование канала передачи на локомотив, рассчитано значение взаимной индуктивности между приемными катушками и рельсами. Построена комплексная математическая модель канала связи между рельсовой цепью и входными устройствами АЛСН в среде Simulink пакета MatLAB, которая отражает процесс работы реальных устройств при поступлении на вход системы кодовых комбинаций без влияния помех и при их присутствии.

Рассмотрены существующие методы анализа сигнального тока АЛС с использованием классического комплексного преобразования Фурье и сформулированы выводы по их применению. Разработан и научно обоснован новый метод мониторинга сигнального тока АЛС, в основе которого лежит дешифрация смеси сигнала и помехи при помощи спектрального вейвлет-анализа, который позволяет оперативно выявлять дефекты кодового тока АЛС и дает возможность получить информацию про локальные особенности сигнала. Данный метод перспективен в использовании при расшифровке записей вагон-лаборатории, анализе сигнального тока в процессе эксплуатации локомотива в условиях повышенных скоростей движения, для разработки автоматизированной системы проверки работоспособности АЛС, а также применим при синтезе цифрового дешифратора нового поколения для фильтрации кодов перед их декодированием.

Проведен анализ технологии обслуживания и контроля работоспособности устройств системы АЛС, который показал использование морально и технически устаревших методов и измерительных средств. Разработан и научно обоснован

метод автоматизации периодического контроля работоспособности локомотивных устройств, который включает в себя способ и устройство контроля технического состояния локомотивных устройств системы АЛС на контрольном пункте. Проведены экспериментальные исследования разработанного устройства в специализированной лаборатории кафедры «Автоматика и телекоммуникации» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В.Лазаряна и в эксплуатационных условиях контрольно-измерительного участка локомотивного депо Днепр-Главный, которые подтвердили значительное повышение уровня технического обслуживания локомотивов за счет автоматизации процесса проверки, исключения влияния человеческого фактора и уменьшения общего времени проверки.

Полученные в диссертационной работе результаты решают научное задание усовершенствования технологии обслуживания АЛС, благодаря чему улучшается помехозащищенность и качество обслуживания системы, что особенно важно в условиях повышенных скоростей движения поездов.

*Ключевые слова:* усовершенствование технологии обслуживания, автоматическая локомотивная сигнализация, отказы, сбои, спектральный анализ, вейвлет-преобразование, устройство контроля технического состояния локомотивных устройств, контрольный пункт.

### **ABSTRACT**

Hololobova O. O. Improvement of service technology for automatic locomotive signaling. – The manuscript.

The dissertation for obtaining a scientific degree of a Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), speciality 05.22.20 – maintenance and repair of transport means. – Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2021.

The dissertation is devoted to the solution for the problem of improvement of service technology for automatic locomotive signaling.

An analytical review of train safety systems and failure statistics of ALS was conducted. The reasons behind interference occurrence in a signal current, and also methods and means of protection against them, are analyzed. Experimental studies of the influence of transmission lines on the operation of ALS were conducted. The complex mathematical model of the communication channel between the rail circuit and the input devices of ALSN is constructed, with the help of which the operation of the system under the influence of interferences is investigated. The method of ALS current monitoring using spectral wavelet analysis has been developed and scientifically substantiated, which allows us to quickly detect code defects. The method of automated control of ALS efficiency has been developed, which includes the approach and device of control for the technical condition of locomotive devices at the checkpoint.

The results obtained in the dissertation solve the scientific problem of improvement of service technology for ALS, thereby improving the immunity to interference and quality of service of the system, which is especially important in conditions of increased train speeds.

*Keywords:* improvement of service technology, automatic locomotive signaling, malfunctions, failures, spectral analysis, wavelet transform, device for monitoring the technical condition of locomotive devices, checkpoint.

**ГОЛОЛОБОВА ОКСАНА ОЛЕКСІЇВНА**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ  
АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Формат 60×84 1/16.

Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 100 пр.  
Замовлення № 6

Видавництво Дніпровського національного  
університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.03

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:  
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010