

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

АНАНЬЄВА ОЛЬГА МИХАЙЛІВНА

УДК 621.391:681.518

**РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ПОБУДОВИ ЗАВАДОСТІЙКИХ
СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант – доктор технічних наук, професор
Панченко Сергій Володимирович,
Український державний університет залізничного транспорту, кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, професор кафедри, ректор.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор
Жуковицький Ігор Володимирович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра електронних обчислювальних машин, завідувач кафедри;
- доктор технічних наук, професор
Алексієв Олег Павлович,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра комп'ютерних технологій і мехатроніки, професор кафедри;
- доктор технічних наук, професор
Фурман Ілля Олександрович,
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, професор кафедри.

Захист відбудеться “ 6 ” грудня 2018 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий “ 1 ” листопада 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Залізничний транспорт посідає провідне місце у задоволенні потреб виробничої сфери та населення у перевезеннях і є однією з базових галузей національної економіки, що сприяє укріпленню її зовнішньоекономічних зв'язків. Світові тенденції розвитку транспортного сполучення потребують упровадження в галузі інноваційних технологій, підвищення безпеки та швидкості руху поїздів, збільшення обсягу перевезень, пропускнуої спроможності перегонів і станцій.

В умовах реалізації Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010–2019 рр. та Транспортної стратегії України на період до 2020 р. особливо актуальним стає питання підвищення якості перевізного процесу, забезпечення безпеки руху поїздів та точності доставки пасажирів і вантажів. Реалізація цих завдань неможлива без надійного функціонування автоматизованих систем управління залізничним транспортом. Особлива роль у забезпеченні безпечної та безперебійної роботи залізниць значною мірою належить системам інтервального регулювання руху поїздів (ІРРП), які виконують функцію регулювання руху на залізничних дільницях та станціях, а саме: пристроям автоматичного та напівавтоматичного блокування, мікропроцесорної та електричної централізації, диспетчерської централізації, системам автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) та ін. Однак значне зношування рухомого складу, засобів автоматики, високий ступінь вироблення технічного ресурсу та моральне й фізичне старіння станційного й перегінного устаткування потребує модернізації існуючих або створення нових поліпшених систем управління залізничним транспортом. У системах АЛС у процесі передачі сигнальної інформації на локомотив між рейковою лінією й локомотивними котушками найбільш широко застосовується індуктивний канал зв'язку, що негативно впливає на якість приймання інформаційних сигналів через наявність у них електромагнітних завад різного походження, небажаних електромагнітних процесів, які можуть відбуватися через неконтрольовані флуктуації їх параметрів. Лінії електропередач, тягові двигуни локомотивів, численні сторонні перетворювачі, радіоелектронні засоби, а також ряд природних процесів служать джерелами електромагнітних коливань, які призводять до істотного зниження вірогідності прийнятих інформаційних повідомлень у цілому. Насиченість виробництва, транспорту, технологічного й навіть побутового середовища джерелами випромінювання неухильно зростає, що призводить до різноманітності характеру створюваних ними електромагнітних завад та затримок поїздів внаслідок відмов пристроїв залізничної автоматики, які залежно від їхнього характеру призводять до порушень графіка руху. Тому завдання подальшого розвитку теоретичних основ побудови завадостійких систем управління залізничним транспортом, які значною мірою підвладні впливу електромагнітних завад різного походження, є актуальною науково-прикладною проблемою.

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

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008–2020 рр. (затверджена Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 14 жовтня 2008 р. № 1259), Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010–2019 рр. (Постанова Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 р. № 1390), Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р.), Наказу Міністерства інфраструктури України «Про затвердження Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України» від 01.04.2011 р. № 27, Переліку актів законодавства ЄС з питань залізничного транспорту та планами їх імплементації, схваленими розпорядженням КМУ від 26.11.2014 № 1148-р.

Автор брала участь як відповідальний виконавець у науково-дослідних роботах: «Дослідження та розробка ресурсозберігаючих технологій експлуатації залізничних станцій та вузлів» (№ ДР 0108U000078), «Дослідження і розробка методів автоматизованого управління рухомим складом залізничного транспорту» (№ ДР 0111U002240). У науково-дослідних роботах: «Формування теоретичних засад підвищення ефективності використання інформаційно-керуючих систем на залізничному транспорті» (№ ДР 0116U000787); «Розроблення системи підтримки прийняття рішень з організації перетинань потоків різних видів транспорту» (№ ДР 0115U000274); «Теоретичні основи організації мережі оперативно-технологічного зв'язку та синтезу систем забезпечення швидкісного руху поїздів» (№ ДР 0115U000280) – як старший науковий співробітник.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є вирішення науково-прикладної проблеми підвищення ефективності управління рухомим складом залізниць на основі розробки науково обґрунтованих заводостійких методів і засобів передачі, приймання та обробки інформаційних сигналів у каналах зв'язку систем залізничної автоматики. Це дасть змогу знизити додаткові фінансові витрати на залізницях від затримок через порушення графіка руху поїздів.

Для досягнення заданої мети в роботі поставлено такі задачі наукових досліджень:

- провести аналіз вітчизняних і закордонних діючих систем управління залізничним транспортом та існуючих наукових підходів щодо підвищення їх заводостійкості;
- отримати математичний опис функції правдоподібності вхідної напруги приймача числових кодів АЛСН в умовах дії двокомпонентної завади з незалежними відліками;
- виконати синтез нелінійного приймача сигналів АЛСН в умовах дії адитивної двокомпонентної завади;
- отримати математичний опис функції правдоподібності вхідної напруги приймача числових кодів АЛСН, що спостерігаються на фоні двокомпонентної гауссівської марківської завади;

- провести синтез приймача інформаційних сигналів АЛСН, що виконує оптимальну обробку сигналів, що спостерігаються на фоні гауссівської марківської завади, утвореної двома компонентами;
- отримати математичний опис критерію оптимальності обробки адитивної суміші кодових сигналів АЛСН й трикомпонентної завади;
- провести синтез пристрою обробки числових кодів АЛСН в умовах дії адитивного впливу трикомпонентної завади;
- провести дослідження впливу швидкості руху поїздів на роботу систем управління рухомим складом та розробити динамічну модель каналу передачі сигнальних кодів АЛСН;
- розробити математичну модель для часової залежності струму шунта при русі локомотива на частині дільниці прямої колії з урахуванням його електромагнітного зв'язку з частиною дільниці відгалуження;
- провести теоретичні дослідження взаємної кореляції компонентів завад роботі тональних рейкових кіл (ТРК);
- провести дослідження процесу протікання струму крізь рейкову лінію у перерізі приймання числових кодів АЛСН та розробити його математичну модель;
- дослідити ефективність впровадження завадостійких методів та засобів управління залізничним транспортом.

Об'єкт дослідження. Процес передачі й обробки інформаційних сигналів в індуктивних каналах зв'язку автоматизованих систем управління залізничним транспортом.

Предмет дослідження. Методи та засоби приймання та обробки сигналів, що забезпечують завадостійкість систем управління залізничним транспортом.

Методи дослідження. Проведені дослідження базуються на використанні таких методів: на основі теорії оптимального приймання сигналів і на математичній статистиці проведено дослідження взаємної кореляції компонентів завад роботі ТРК та синтезовано завадостійкі пристрої приймання числових кодів АЛСН; за допомогою методів гармонічного аналізу, перетворення Фур'є й програмного моделювання створено моделі завад, що впливають на роботу систем управління залізничним транспортом; методи цифрової обробки сигналів використано при побудові математичних моделей процесів приймання й обробки кодових сигналів АЛСН; на теорії електричних кіл, теорії чотириполосників та чисельних методах розрахунків базуються моделі каналу передачі сигналів АЛСН та часової залежності струму шунта при русі локомотива.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні науково-прикладної проблеми формування завадостійких систем управління залізничним транспортом шляхом подальшого розвитку науково обґрунтованих методів, моделей, технічних засобів та стратегій прогнозування процесу розповсюдження, передачі, приймання та обробки інформаційних сигналів у каналах зв'язку систем залізничної автоматики.

Вперше:

- отримано функцію правдоподібності вхідної напруги приймача числових кодів АЛСН в умовах дії двокомпонентної завади з незалежними відліками, яка реалізується на базі обчислення кореляційних сум та енергії кожного з сигналів, які розпізнаються, і містить C коефіцієнти, що визначають статистичні характеристики обох завад;

- виконано синтез нелінійного приймача сигналів АЛСН в умовах дії адитивної двокомпонентної завади, відмінною рисою якого є наявність вузлів нелінійної обробки вхідного сигналу, що забезпечують наростаюче подавлення адитивної суміші сигналу й шуму на тих часових інтервалах, де величина її напруги велика через дію імпульсних завад;

- отримано функцію правдоподібності вхідної напруги приймача числових кодів АЛСН, що спостерігаються на фоні двокомпонентної гауссівської марківської завади, структура якої для випадку статистично незалежних відліків включає інерційні нелінійні перетворення сигналів та враховує перехресні зв'язки між сусідніми відліками корисного сигналу;

- проведено синтез приймача інформаційних сигналів АЛСН, що виконує оптимальну обробку сигналів, спостережуваних на фоні гауссівської марківської завади, утвореної двома компонентами, у якій операції обчислення зваженої кореляційної суми й зваженої енергетичної суми базуються на використанні нелінійних інерційних перетворювачів, що забезпечують наростаюче подавлення адитивної суміші сигналу й шуму на тих часових інтервалах, де величина її напруги велика через дію імпульсних завад;

- отримано критерій оптимальності обробки адитивної суміші кодових сигналів АЛСН і трикомпонентної завади, що дало змогу на основі реалістичних припущень про статистичні взаємозв'язки сигналу й компонент завади досягнути підвищення завадостійкості в результаті урахування поправок до ізольованих відношень правдоподібності. Зазначені поправки враховують взаємокореляційні зв'язки сигналу й кожної з компонентів завади;

- синтезовано пристрій обробки числових кодів АЛСН в умовах дії адитивного впливу трикомпонентної завади, що виконує розпізнавання прийнятого інформаційного сигналу шляхом багатопараметричної мінімізації цільової функції та забезпечує скорочення обчислювальних витрат шляхом багатокрокової редукації розмірності.

Удосконалено:

- динамічну модель каналу передачі сигналів АЛСН, яка враховує рух поїзда і на відміну від існуючих надає можливість встановити залежність впливу швидкості руху поїздів на роботу систем автоматичного управління рухомим складом;

- математичну модель для часової залежності струму шунта при русі локомотива на частині дільниці прямої колії з урахуванням його електромагнітного зв'язку з частиною дільниці відгалуження, що на відміну від існуючих дозволила визначити коефіцієнт передачі сигналу з урахуванням

частотної залежності опорів і діючого значення розглянутої гармоніки електрорушійної сили генератора.

Набуло подальшого розвитку:

- теоретичні дослідження взаємної кореляції компонентів завад роботі ТРК, що дало змогу врахувати величину впливу крос-кореляційних компонентів характерних завад в процесі побудови завадостійких засобів обробки інформаційних сигналів;

- математична модель процесу приймання числових кодів АЛСН, що враховує протікання струму крізь рейкову лінію у перерізі приймання та припускає частотний метод аналізу електромагнітних параметрів рейкових кіл і на відміну від існуючих дозволяє отримати схему заміщення блок-дільниці у вигляді структури, яка бере до уваги як електричні властивості рейкової лінії, так і динаміку руху поїзда.

Практичне значення одержаних результатів. Практичні результати роботи полягають у такому: розробка динамічної моделі каналу передачі сигналів АЛСН дозволяє встановити залежність впливу швидкості руху поїздів на роботу систем автоматичного управління рухомим складом; дослідження взаємної кореляції компонентів завад роботі ТРК та отримання математичних моделей часової залежності струму шунта і процесу приймання числових кодів АЛСН, що враховують рух поїзда, дає змогу визначити їх вплив на розповсюдження інформаційних сигналів у рейкових колах та каналах зв'язку систем АЛСН; синтез завадостійких пристроїв приймання числових кодів АЛСН та інформаційних сигналів ТРК дає змогу зменшити втрати на 12–15 % від позаграфікових зупинок поїздів і зниження (тимчасового обмеження) їх швидкості внаслідок збоїв у роботі пристроїв залізничної автоматики.

Основні наукові результати дисертації передані для впровадження в 2016–2017 рр. на регіональну філію «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» на дільницях прискореного руху Гребінка–Полтава та Полтава–Лозова, а саме: методи дослідження взаємної кореляції компонентів завад роботі ТРК; математичні моделі базового процесу приймання числових кодів АЛСН; методи аналізу завадостійкості індуктивних каналів передачі сигналів АЛСН; методи підвищення завадостійкості пристроїв приймання та обробки числових кодів АЛСН в умовах адитивного впливу імпульсної завади, безперервної завади від лінії електропередач і безперервного гауссівського шуму; рекомендації з оптимальної обробки адитивної суміші сигналів АЛСН й трикомпонентної завади.

Упровадження вищевказаних розробок дає змогу зменшити збитки від затримок поїздів внаслідок відмов існуючих пристроїв сигналізації, централізації та блокування, які залежно від їхнього характеру призводять до порушень графіка руху поїздів.

Очікується, що загальна сума економічного ефекту від впровадження запропонованих методів та засобів побудови завадостійких систем управління залізничним транспортом і застосування їх протягом шести років складатиме 3230,7 тис. грн, що підтверджено актом впровадження.

Результати окремих розділів дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі на кафедрі автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, кафедрі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки і Інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів (ІППК) Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) при підготовці начальників, заступників начальників, головних інженерів служб сигналізації та зв'язку. До основних практичних результатів дисертаційної роботи, що використовується у навчальному процесі ІППК УкрДУЗТ, належать такі: дослідження часових залежностей сигнального струму локомотивного приймача числових кодів АЛСН при проходженні локомотивом передстрілочної й стрілочної дільниці залізниці, які містять результати комп'ютерного моделювання, що визначають миттєве значення струму шунта з представленням сигналу в частотній області; апроксимація функції правдоподібності адитивної суміші структурно-детермінованого сигналу, прийнятого на фоні адитивної двокомпонентної марківської завади, що дозволило привести цю функцію до вигляду, яка являє собою суму обчислювальних блоків; інженерна інтерпретація функції правдоподібності для ситуації, коли структурно-детермінований сигнал приймається на фоні адитивної двокомпонентної марківської завади. Представлено структурні схеми вузла обчислення кореляційної суми й вузла обчислення зваженої енергетичної суми для довільної щільності розподілу ймовірності завад. Вони ґрунтуються на виконанні інженерно легкореалізованих математичних операцій і є базовими для побудови пристрою оптимального приймання сигналу в умовах дії двокомпонентної марківської завади; синтез пристрою приймання сигналів АЛСН на фоні адитивної трикомпонентної завади, що виконує розпізнавання прийнятого інформаційного сигналу шляхом багатопараметричної мінімізації цільової функції. Підвищення завадостійкості досягнуто в ньому у результаті урахування поправок до ізольованих відношень правдоподібності. Зазначені поправки враховують взаємкореляційні зв'язки сигналу й кожної з компонентів завади.

Особистий внесок здобувача. У наукових працях, що опубліковані зі співавторами, особистий внесок полягає у такому: [1] – отримано математичну модель каналу передачі сигналів числового коду АЛСН та розраховано на заданій частоті комплекс діючого значення струму в будь-якому перерізі лінії, який знаходиться на відстані x від генератора; [4] – проведено аналіз впливу завад, характерних для ділянок рейкової лінії, що містять стрілкові переводи, на приймання сигналів АЛСН та отримано основні рівняння електричної лінії, що перетворені на базі врахування практичних величин параметрів стрілкової дільниці колії; [5] – запропоновано схему заміщення блок-дільниці, що враховує рух поїзда, та отримано відносну похибку модельного розрахунку діючого значення сигнального струму АЛСН в широкому діапазоні величин опору шунта; [6] – проведено аналіз часових характеристик струму шунта та електрорушійної сили локомотивних котушок системи АЛСН;

[7] – запропоновано при дослідженні електромагнітних процесів у рейках користуватися чотиривимірним формалізмом спеціальної теорії відносності;

[8] – формалізовано основні принципи побудови моделі каналу передачі інформаційних сигналів АЛСН; [9] – визначено комплексну передатну функцію по струму контрольованої ділянки з урахуванням частотної залежності опорів і діючого значення розглянутої гармоніки електрорушійної сили генератора;

[10] – проведено теоретичне обґрунтування загальної структури приймання сигналів АЛСН в умовах дії двокомпонентної завади; [11] – проведено синтез структури приймача сигналів АЛСН, спроможного змінювати параметри алгоритму обробки відповідно до поточної інтенсивності завад; [12] – проведено теоретичне обґрунтування статистичного взаємозв'язку відліків напруги сигналу безперервного типу, що являє собою суму сигналу й адитивної двокомпонентної завади; [13] – проведено аналіз завад, що діють у каналі передачі інформаційних сигналів системи АЛСН; [14] – проведено апроксимацію функції правдоподібності структурно-детермінованого сигналу, що прийнятий на фоні адитивної двокомпонентної марківської завади; [15] – запропоновано та теоретично обґрунтовано принципи побудови структурних схем вузлів обчислення кореляційної суми та зваженої енергетичної суми для довільної щільності розподілу ймовірності завад для ситуації, коли структурно-детермінований сигнал приймається на фоні адитивної двокомпонентної марківської завади; [16] – отримано математичну модель щільності розподілу ймовірності кодового сигналу АЛСН, спостережуваного на тлі корельованої гауссівської завади; [19] – запропоновано й теоретично обґрунтовано завадостійкий метод передачі й обробки інформаційних сигналів, що реалізований при побудові ТРК; [20] – запропоновано основні принципи побудови завадостійкого пристрою для приймання сигналу з рейкового кола; [21] – запропоновано метод підвищення точності виявлення транспортного засобу шляхом виключення впливу різних дестабілізаційних факторів на параметри індуктивно-дротового датчика; [23] – запропоновано математичну модель каналу передачі сигналів числових кодів АЛСН; [25] – побудовано структурну схему завадостійкового пристрою приймання сигналів ТРК; [33] – формалізовано основні принципи обробки сигналів, що прийняті на фоні адитивної марківської завади; [41] – запропоновано структурну схему реєстратора колійного індуктивного датчика, що дало змогу визначити зайнятість стрілкової ділянки, а також напрям руху та кількість вагонів у відчепі; [42] – запропоновано структурну схему реєстратора, що дозволило виключити відмови при реєстрації колісних пар рухомого складу та контролювати справність роботи блоку виявлення колісних пар; [43] – запропоновано структурну схему індуктивно-дротового датчика; [44] – запропоновано основні принципи побудови схеми керування безконтактним двигуном стрілочного електропривода; [45] – запропоновано структурну схему завадостійкового ТРК; [46] – запропоновано структурну схему захищеного від завад та ефекту дрейфу нуля колійного індуктивного датчика; [47] – формалізовано основні принципи підвищення точності та завадостійкості індуктивно-дротового датчика при

реєстрації проходження відчепа, а також забезпечення запобігання переведенню стрілки під рухомим складом; [48] – побудовано адаптивну систему керування стрілочним електроприводом.

Дослідження, що висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в УкрДУЗТ.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях: 22 та 24 Міжнародних науково-практичних конференціях «Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України» (м. Алушта, 2009 р. та 2011 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Електромагнітна сумісність і безпека на залізничному транспорті» (м. Дніпропетровськ 15-19 лютого 2011 р.); 25 Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізниць України» (м. Алушта, 2012 р.); 26 Міжнародній науково-практичній конференції «Впровадження перспективних мікропроцесорних систем залізничної автоматики й засобів телекомунікацій на базі цифровизації» (м. Алушта, 2013 р.); LXXV та LXXVI Міжнародних науково-технічних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, 24-25 квітня 2013 р. та 15-17 квітня 2014 р.); 27, 28 та 29 Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (м. Харків, 24-26 вересня 2014 р., 2015 р., 2016 р.); LXXVIII та LXXIX Міжнародних науково-технічних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, 2016 р. та 25-27 квітня 2017 р.); 8 Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування» (м. Херсон, 2017 р.); 4 Міжнародній науково-технічній конференції «Інформатика, управління та штучний інтелект» (м. Харків, ХІІІ, 2017 р.);

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на розширеному засіданні кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту.

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 48 наукових праць, з яких 23 статті, що опубліковані у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України (10 статей включені до міжнародних наукометричних баз, 1 з них індексується у базі Scopus), 7 патентів на винахід, 4 патенти на корисну модель та 14 праць апробаційного характеру.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг тексту дисертації – 355 сторінок, обсяг основного тексту складає 263 сторінки друкованого тексту, 35 рисунків за текстом та 9 рисунків на окремих сторінках, 5 таблиць за текстом та 4 таблиці на окремих сторінках, список використаних джерел із 298 найменувань, 12 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, мету та основні задачі досліджень. Викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, показано особистий внесок здобувача у виконанні дисертаційної роботи та її зв'язок з науковими програмами та планами. Представлено відомості про впровадження основних положень роботи, наведено інформацію про структуру дисертації, публікації та апробацію робіт.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану існуючих систем управління залізничним транспортом в Україні та за кордоном. Визначено проблеми, що пов'язані з процесом розповсюдження, передачі, приймання та обробки інформаційних сигналів у каналах зв'язку колійних пристроїв залізничної автоматики. Розглянуто загальноєвропейські вимоги ERTMS/ETCS та стандарт стільникового зв'язку з рухомим складом ERTMS/GSM-R, що розроблено в країнах Західної Європи з метою уніфікації національних систем управління залізничними перевезеннями. Показано, що згідно з Транспортною Стратегією України пріоритетами розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року окремо передбачено забезпечення залізниць рухомим складом, що спроможний істотно покращити техніко-технологічні показники, зокрема щодо: підвищення швидкості руху пасажирських поїздів до 160 (у перспективі до 200) і вантажних – до 100–120 кілометрів на годину; збільшення строку експлуатації та підвищення продуктивності рухомого складу; зменшення часу доставки вантажів та перебування пасажирів у дорозі. Встановлено, що існуючі системи управління залізничним транспортом, які в наш час експлуатуються на залізницях України, не в змозі повною мірою забезпечити на високошвидкісних ділянках високу пропускну спроможність із заданим рівнем безпеки руху і за багатьма параметрами не відповідають зростаючим потребам суспільства та європейським стандартам якості надання транспортних послуг. Як свідчить статистика, кількість збоїв, наприклад, у роботі системи АЛСН, в умовах підвищення швидкості руху поїздів має тенденцію зростання. Система АЛСН, яка є найбільш поширеною в Україні, працює на багатьох лініях, але застосовується в основному як додатковий засіб сигналізації й у більшості випадків не заміняє колійні сигнали. Загальним її недоліком, що знижує безпеку руху, є неможливість розрахунків динамічної кривої швидкості при гальмуванні, якщо не використовуються рейкові кола стандартної довжини або додаткові прилади для передачі інформації про відстань між сигналами. При збільшенні швидкості руху й ваги поїздів стійкість роботи системи АЛСН знижується, що призводить до порушень графіка руху поїздів. Відмови в її роботі викликані посиленням впливу електромагнітних завад різного походження на індуктивний канал зв'язку колійних пристроїв з локомотивом, намагніченістю рейок, конструкцією верхньої будови колії, порушенням нормального приймання кодових сигналів при проходженні поїздом коротких ізольованих ділянок на станціях, стрілочних переводів, завадами, що пов'язані з параметрами рейкової

лінії та ін. Це потребує подальшого проведення теоретичних досліджень у галузі побудови завадостійких систем залізничної автоматики.

Значний внесок у вирішення теоретичних і прикладних проблем побудови систем залізничної автоматики та дослідження їхньої електромагнітної сумісності внесли відомі вчені В.С. Аркатов, М.М. Бабаєв, М.П. Бадер, І.В. Беляков, А.Б. Бойнік, А.М. Брилеєв, М.І. Вахнін, В.І. Гаврилюк, К.В. Гончаров, В.С. Дмитрієв, І.В. Жуковицький, В.О. Котельников, М.Ф. Котляренко, В.Б. Леушин, В.М. Лисенков, В.І. Мойсеєнко, С.В. Панченко, Н.Ф. Пенкин, О.С. Переборов, А.П. Разгонов, В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, А.А. Сірко, В.В. Скалозуб, Ю.В. Соколов, Б.М. Степенський, М.М. Чепцов, С.К. Шаманов, А.В. Шишляков, Р. Aknin, L. Oukhellou, Р. Weston та ін.

Водночас, аналіз попередніх досліджень, присвячених розробленню наукових підходів до формування та удосконалення існуючих методів та засобів захисту каналів зв'язку пристроїв залізничної автоматики від впливу завад, показав, що у своїй більшості вони недостатньо повно приділяють відповідну увагу науковій проблемі підвищення їхньої завадостійкості. Зроблено висновок, що на даний момент, наукова проблема побудови завадостійких систем управління залізничним транспортом шляхом подальшого розвитку науково обґрунтованих методів, моделей, технічних засобів та стратегій прогнозування процесу розповсюдження, передачі, приймання та обробки інформаційних сигналів у каналах зв'язку систем залізничної автоматики досі не вирішена. Наявність завадостійких локомотивних приймальних пристроїв АЛСН дозволить підвищити рівень безпеки руху, зменшити кількість затримок поїздів та покращити умови праці локомотивних бригад. Вирішення цієї проблеми і складає основний напрям поданої дисертаційної роботи.

У **другому розділі** проведено дослідження характеру розповсюдження інформаційних сигналів у рейкових колах (РК) як каналах зв'язку колійних пристроїв систем залізничної автоматики. Розглянуто взаємну кореляцію завад у вигляді сигналу ТРК і завад від струму промислової частоти. Загальний вираз для взаємної кореляційної функції сигналу $s(t)$ ТРК та завади $v_{El}(t)$ є таким:

$$K_{sEl}(\tau) = \frac{1}{T_i} \int_{\tau_s}^{\tau_s+T_i} s(t)v_{El}(t-\tau)dt. \quad (1)$$

$$s(t) = U_{ms} \cdot f(t-\tau_s) \cdot \sin(\omega_s t + \varphi_s), \quad (2)$$

де U_{ms} – амплітуда напруги сигналу, ω_s – кутова частота, φ_s – початкова фаза, $f(t-\tau_s)$ є законом амплітудної модуляції сигналу:

$$f(t-\tau_s) = \begin{cases} 1 & \text{при } \tau_s+nT_i \leq t \leq \tau_s+\tau_i+nT_i, \\ 0 & \text{при інших величинах } t, \end{cases} \quad (3)$$

де τ_i – протяжність сигнального імпульсу; T_i – період повторення сигнальних імпульсів; τ_s – часовий зсув імпульсу з номером $n=0$ відносно моменту часу, прийнятого за початок відліку; $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$; $v_{El}(t)$ – напруга завади

$$v_{El}(t) = U_{mEl} \sin(l\omega_E t + \varphi_{El}), \quad (4)$$

де $\omega_E = 2\pi 50$ рад/с.; U_{mEl} – амплітуда завадової напруги l -ї гармоніки струму промислової частоти; φ_{El} – початкова фаза цієї гармоніки.

Оскільки на проміжку часу від $\tau_s + \tau_i$ до $\tau_s + T_i$ сигнал дорівнює 0, то часова функція $K_{sEl}(\tau)$ має такий вигляд:

$$K_{sEl}(\tau) = \frac{U_{ms} U_{mEl} \tau_i}{2T_i} \times \left\{ \cos \frac{(\omega_s - l\omega_E)(2\tau_s + \tau_i) + 2l\omega_E \tau + 2\varphi_s - 2\varphi_{El}}{2} \times \right. \\ \times \frac{\sin \left[0,5(\omega_s - l\omega_E)\tau_i \right]}{0,5(\omega_s - l\omega_E)\tau_i} - \cos \frac{(\omega_s + l\omega_E)(2\tau_s + \tau_i) - 2l\omega_E \tau + 2\varphi_s + 2\varphi_{El}}{2} \times \\ \left. \times \frac{\sin \left[0,5(\omega_s + l\omega_E)\tau_i \right]}{0,5(\omega_s + l\omega_E)\tau_i} \right\}. \quad (5)$$

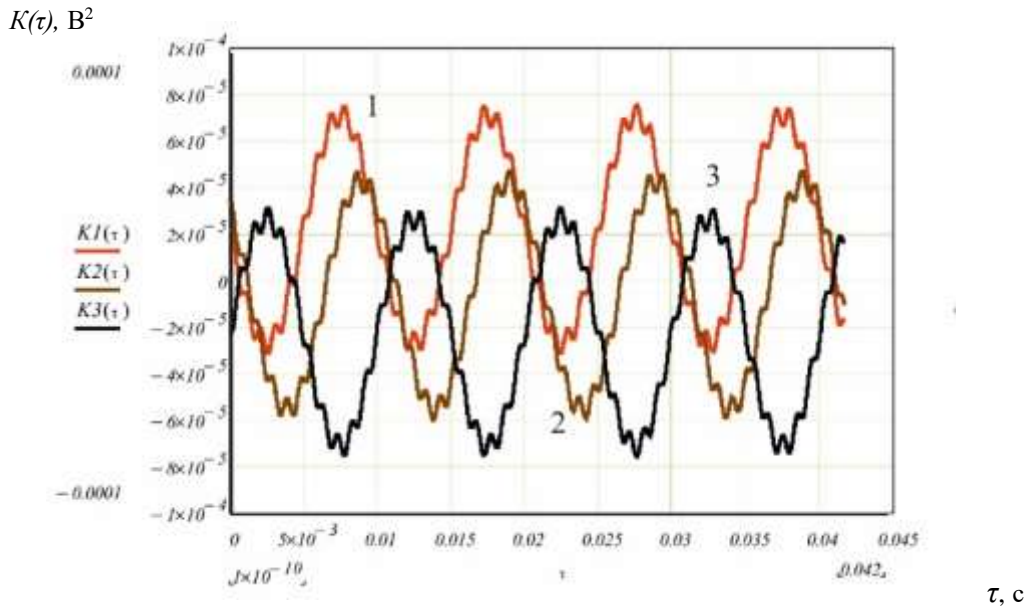
Проведено оцінку величини амплітуди коливання $K_{sEl}(\tau)$ на прикладі приймання сигналу f (несуча частота $f_s = 420$ Гц) на тлі 8-ї гармоніки живильного струму ($f_E = 400$ Гц). Параметри сигналу сусіднього ТРК: $T_i = \frac{1}{8}$ с, $\tau_i = 0,5T_i = \frac{1}{16}$ с, $\tau_s = 0$, $U_{ms} = 0,062$ В. Амплітуда завади $U_{mE} = 0,5$ В; початкові фази сигналу φ_s та завади φ_{El} в ході розрахунків варіювалися. Як показали обчислення, за усіх можливих сполучень початкових фаз величина $K_{sEl}(\tau)$ лежить у межах від $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ В}^2$ до $1,45 \cdot 10^{-3} \text{ В}^2$.

Отримано крос-кореляційний компонент завад у вигляді сигналів суміжних ТРК

$$K_{12}(\tau) = \frac{[I_1(\tau) + I_2(\tau)]}{T_{i1}}. \quad (6)$$

де $I_1(\tau)$, $I_2(\tau)$ – кореляційні компоненти завад

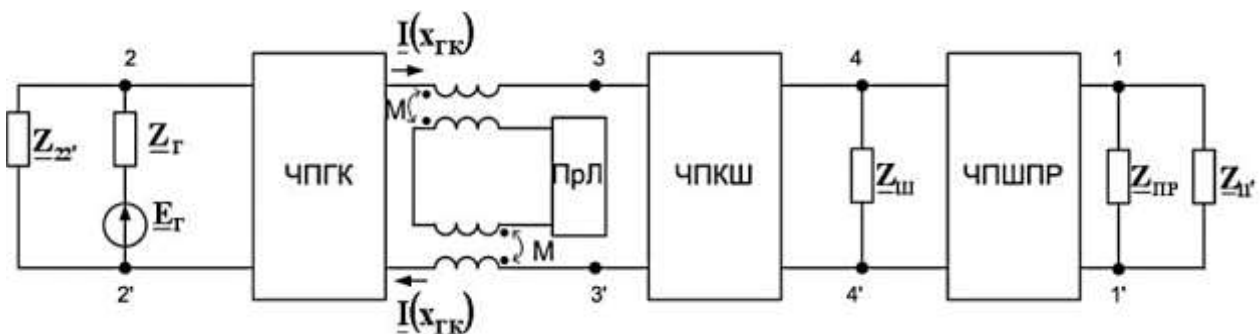
Часова структура функції $K_{12}(\tau)$ є досить складною. Її приклад при параметрах моделі $U_{ms1} = U_{ms2} = 0,062$ В, $f_1 = 580$ Гц, $f_2 = 480$ Гц, $T_{i1} = \frac{1}{8}$ с, $T_{i2} = \frac{1}{12}$ с, $\tau_{s1} = \tau_{s2} = 10^{-10}$ с та нульових початкових фазах наведених на рисунку 1.



Рисунку 1 – Взаємна кореляція завад суміжних ТРК:
крива 1 – для $\varphi_{s2} = 0$; крива 2 – для $\varphi_{s2} = 25^0$; крива 3 – для $\varphi_{s2} = 90^0$

Як видно з рисунку 1 за усіх можливих сполучень початкових фаз компонент $K_{12}(\tau)$ є величиною, що не перевищує 10^{-4} В².

Запропоновано динамічну модель каналу передачі сигналів АЛСН, що враховують рух поїзда на блок-дільниці (рис. 2).



Рисунку 2 – Схема заміщення блок-дільниці

На рисунку 2 чотиріполюсник ЧПГК заміщує ділянку РЛ, що розташована між затискачами 2-2' та перерізом приймання; чотиріполюсник ЧПКШ заміщує ділянку між перерізом приймання і перерізом накладання шунта;

чотириполюсник ЧПШПР заміщує ділянку між перерізом накладання першого шунта і перерізом 1-1' підключення колійного реле. Першим шунтом є опір першої колісної пари, яка вступила на блок-дільницю; дотик коліс до рейок вважаємо точковим. За таких умов схема заміщення чотириполюсника ЧПШПР виглядає каскадного з'єднання кількох N чотириполюсників. З урахуванням цього загальний опір є таким:

$$\underline{Z}_{BX \text{ за } G(N)} = \underline{Z}_{11} + \frac{1}{G \left[N - G \sum_{k=2}^N \underline{Z}_{k1} (N - k + 1)^2 \right]}. \quad (7)$$

Це співвідношення є справедливим при $G \ll 1/|\underline{Z}_{k1}|$ та $k \geq 2$, де k – кількість колісних пар

Оскільки колісні пари вступають на блок-дільницю дискретно в часі, то опір $\underline{Z}_{BX \text{ зз'}}$ є кусково-сталою функцією часу:

$$\underline{Z}_{BX \text{ зз'}}(t_N) = \underline{Z}_{KIII} + \frac{\underline{Z}_{III}}{\sum_{n=0}^N 1(t - t_n)}, \quad (8)$$

де t_n – момент вступу n -ї осі на блок-ділянку, причому момент $t = 0$ відповідає вступу першої осі; $1(t - t_n)$ – одинична східчаста функція яка визначена як

$$1(t - t_n) = \begin{cases} 0, & t < t_n; \\ 1, & t > t_n. \end{cases} \quad (9)$$

Розроблено математичну модель рейкового кола як формувача величини струму $\underline{I}(x_{ГК})$ в перерізі приймання сигналів АЛСН блок-дільниці (рис. 2). Отримано вхідний опір $\underline{Z}_{III'}$ перерізу приймання за умови, що відомі параметри $\underline{E}_Г$, $\underline{Z}_Г$, $\underline{Z}_{22'}$ живильного кінця та A параметри ЧПК

$$\underline{A} = \underline{D} = ch(\underline{\gamma}x_{ГК}) \quad \underline{B} = \underline{Z}_B sh(\underline{\gamma}x_{ГК}) \quad \underline{C} = \frac{sh(\underline{\gamma}x_{ГК})}{\underline{Z}_B}, \quad (10)$$

де $x_{ГК}$ – довжина відповідної ділянки РЛ; $\underline{\gamma}$ – коефіцієнт поширення РЛ; \underline{Z}_B – хвильовий опір РЛ.

Специфіка, однак, полягає в тому, що величина $x_{ГК}$ зменшується з часом: при вступі локомотива на блок-дільницю в момент t_0 маємо, згідно з рисунком 1, величину $x_{ГК}(t_0) = l$, а при досягненні передньою віссю локомотива перерізу 2-2'

в момент t_ϕ маємо $x_{ГК}(t_\phi) = 0$. З урахуванням цього в поточний момент часу t координата $x_{ГК}$ визначається за виразами

$$x_{ГК}(t) = l - v(t - t_0) \quad (11)$$

при постійній швидкості v руху поїзда та

$$x_{ГК}(t) = l - \int_{t_0}^t v(t) dt, \quad (12)$$

коли швидкість поїзда змінюється під час проходження локомотивом блок-дільниці.

Проведено моделювання відносних похибок обчислення величин модулів (13) та аргументів (14) A -параметрів РЛ у точці $x_a = x_{ГК}$ (тобто на початку інтервалу сталості) для $\Delta x = 2$ м та $\Delta x = 50$ м. Параметри РЛ прийняті такими, що дорівнюють нормативним.

$$\delta A(x_{ГК}) = \left| \frac{A(x_{ГК} - \Delta x) - A(x_{ГК})}{A(x_{ГК})} \right| \cdot 100\%, \quad (13)$$

де $A = |A|$ і за аналогічними формулами для \underline{B} , \underline{C} , \underline{D} ; $x_a = x_{ГК}(t_a)$; $\Delta x < x_a$.

$$\delta_{\phi A}(x_{ГК}) = \left| \frac{\arg\{\underline{A}(x_{ГК} - \Delta x)\} - \arg\{\underline{A}(x_{ГК})\}}{\arg\{\underline{A}(x_{ГК})\}} \right| \cdot 100\%, \quad (14)$$

для параметра \underline{A} і за аналогічними формулами – для \underline{B} , \underline{C} , \underline{D} .

У результаті моделювання встановлено, що A -параметри чотириполюсника ЧПК можна вважати наближено сталими на часовому відрізку Δt , що дорівнює інтервалу часу між вступом на блок-дільницю сусідніх колісних пар, величина ж цього відрізка є $\Delta t_n = t_n - t_{n+1}$, де моменти t_n визначені як моменти вступу колісних пар на блок-дільницю.

Отримано математичний вираз для часової залежності струму шунта при русі локомотива на частині дільниці прямої колії з урахуванням його електромагнітного зв'язку з частиною дільниці відгалуження. Для запропонованої схеми заміщення контрольованої ділянки визначено діюче значення струму шунта з урахуванням частотної залежності опорів і діючого значення розглянутої гармоніки електрорушійної сили генератора

$$I_{III}(t) = E_{\Gamma} \cdot K_I(\omega, t) = E_{\Gamma} \cdot \frac{Z(t)}{0,5Z_{1D}(t) + Z_{\Gamma}} \cdot \frac{Z_{XYZ}(t)}{Z_{DD}(t)[R_s + Z_{XYZ}(t)] + R_s Z_{XYZ}(t)}, \quad (15)$$

де E_{Γ} , $Z(t)$, $Z_{XYZ}(t)$, $Z_{DD}(t)$, $Z_{1D}(t)$ – параметри схеми заміщення контрольованої ділянки; $K_I(\omega, t)$ – коефіцієнт передачі сигналу по струму.

Складні залежності від часу опорів, що входять у вираз (15), перешкоджають одержанню точної аналітичної залежності $i_{uu}(t)$ через неможливість у цьому випадку точного аналітичного інтегрування в ході розрахунків зворотного перетворення Фур'є. Тому найбільш плідним шляхом у даній ситуації вважається комп'ютерне моделювання коефіцієнта передачі сигналу по струму $K_I(\omega, t)$ функції (15) з представленням його в частотній області. Як модель вхідного сигналу розглянутого кола вибрано типовий для АЛСН прямокутний радіоімпульс із амплітудою $E_{\Gamma m}$, центральною частотою f_0 , тривалістю τ_H , що повторюється з періодом T :

$$e_{\Gamma}(t) = \begin{cases} E_{\Gamma m} \cdot \sin 2\pi f_0(t), & t \in [0; \tau_H) \\ 0, & t \in [\tau_H; T). \end{cases} \quad (16)$$

Тригонометричний ряд Фур'є для такого сигналу має загальний вигляд:

$$e_{\Gamma}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} E_{mk} \cdot \cos(k\Omega t + \beta_k), \quad (17)$$

де $\Omega = 2\pi / T$.

Струм як функція часу визначається виразом:

$$i_{uu}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} |I_{III\,mk}(t)| \cdot \cos[k\Omega t + \psi_k(t)], \quad (18)$$

де

$$\psi_k(t) = \arg \{ I_{III\,mk}(t) \}, \quad (19)$$

при таких вихідних даних:

- параметри імпульсу: $E_{\Gamma m} = 10 \text{ В}$, $f_0 = 25 \text{ Гц}$, $\tau_H = 0,23 \text{ с}$, $k = 0, \dots, 36$;

- параметри кола: Z_0 – згідно з табличними даними для рейки Р65, $Z_{\Gamma} = 0,25e^{j20^\circ} \text{ Ом}$;

- параметри схеми заміщення: $x_A = 0,2 \text{ км}$, $x_B = 0,1 \text{ км}$, $x_F = 0,09 \text{ км}$, $R_s = 0,06 \text{ Ом}$, $\sigma = 2 \cdot 10^{-2} \text{ См/м}$, $\varepsilon = 5$, $\varphi = 15^\circ$, $x_2 = 11 \text{ м}$, $y_2 = 12 \text{ м}$.

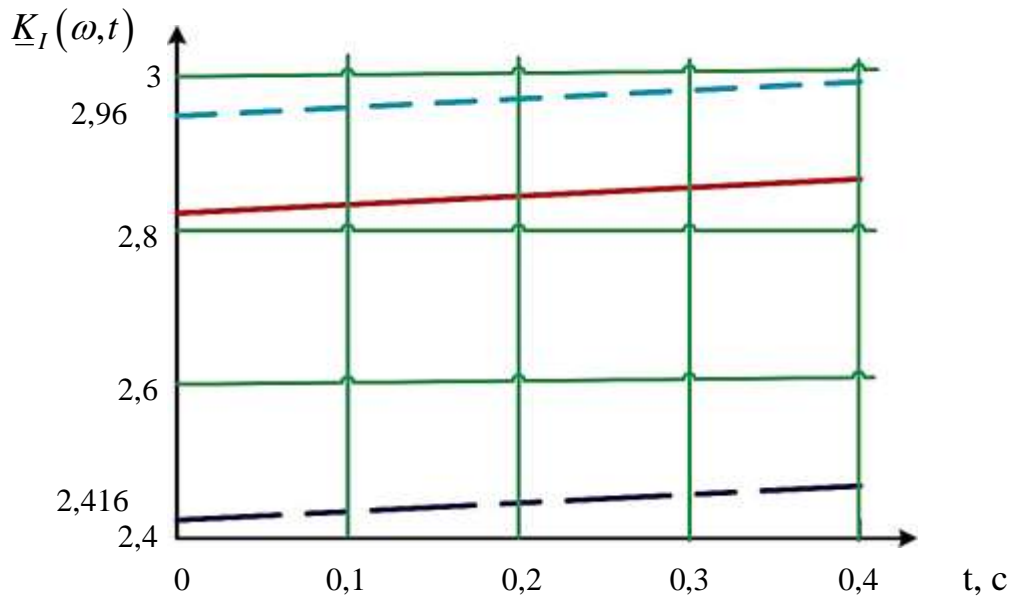


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта передачі сигналу по струму $\underline{K}_I(\omega, t)$:

$$|Ki(15, t)| - \text{---} - |Ki(25, t)| - \text{—} - |Ki(50, t)| - \text{---} -$$

Результати моделювання показали (рис. 3), що в широкому діапазоні залежність струм $i_{uu}(t)$ візуально слабо відрізняється від синусоїдального імпульсу, за формою близького до вхідного імпульсу $e_r(t)$. Причиною вважається слабка залежність комплексної передатної функції від своїх аргументів на часовому відрізку тривалістю τ_{II} .

У третьому розділі побудовано математичну модель загальної структури пристрою приймання та обробки кодових сигналів АЛСН в умовах дії двокомпонентної завади. При визначенні загальної структури приймача з метою чисельного опису збитку від неправильного розрізнення сигналів, введено функцію втрат $r(\hat{\vec{\lambda}}, \vec{\lambda})$, де $\vec{\lambda}$ – векторний параметр, що являє собою вектор дійсних величин параметрів; $\hat{\vec{\lambda}}$ – рішення, що полягає в числовій оцінці параметра $\vec{\lambda}$.

При цьому, середня величина втрат R (середній ризик) є числовим заходом недосконалості обраного правила прийняття рішень:

$$R = \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^M r(\hat{\vec{\lambda}}^{(m)}, \vec{\lambda}^{(l)}) \cdot P(\hat{\vec{\lambda}}^{(m)}, \vec{\lambda}^{(l)}), \quad (20)$$

де Λ – простір значень параметра $\vec{\lambda}$; $\hat{\Lambda}$ – простір рішень $\hat{\vec{\lambda}}$ щодо значення параметра $\vec{\lambda}$; λ – спільна щільність імовірності прийняття конкретного рішення $\hat{\vec{\lambda}}$ щодо конкретної дійсної величини $\vec{\lambda}$; M – кількість сигналів, що розрізняються; $\vec{\lambda}^{(n)}$ – інформаційний параметр, що визначає n -й сигнал, що розрізняється.

В основу обчислення середнього ризику приймача покладено просту функцію втрат, що привласнює нульову величину втрат правильним рішенням і одиничну величину втрат – будь-якому неправильному рішенням:

$$r\left(\vec{\lambda}^{(m)}, \vec{\lambda}^{(l)}\right) = 1 - \delta_{ml}; \quad m, l = 1, 2, 3, 4, \quad (21)$$

де

$$\delta_{ml} = \begin{cases} 0, & m = l \\ 1, & m \neq l. \end{cases}$$

У цьому випадку вирішальне правило таке:

$$\vec{\lambda} = \vec{\lambda}^{(D)}, \text{ якщо } P\left(\vec{\lambda}^{(D)}\right) \cdot p\left(\vec{u}|\vec{\lambda}^{(D)}\right) = \max_l \left\{ P\left(\vec{\lambda}^{(l)}\right) \cdot p\left(\vec{u}|\vec{\lambda}^{(l)}\right) \right\}. \quad (22)$$

де $\vec{u} = (u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_K)$ – прийнята в обробку реалізація суміші сигналу й завад; $P\left(\vec{\lambda}^{(l)}|\vec{u}\right)$ – апостеріорна ймовірність параметра $\vec{\lambda}^{(l)}$; $P\left(\vec{\lambda}^{(l)}\right)$ – апіорна ймовірність приймання сигналу, обумовленого параметром $\vec{\lambda}^{(l)}$; $p\left(\vec{u}, \vec{\lambda}\right)$ – функція правдоподібності.

Показано, що загальна структура приймача являє собою сукупність обчислювачів функцій правдоподібності, сховища величин апіорних ймовірностей, і пристрою порівняння.

Отримаємо функцію правдоподібності всієї реалізації \vec{u} вхідної напруги приймача сигналу АЛСН, що спостерігається в умовах дії двокomпонентної завади з незалежними відліками у випадку, коли сигнал $s(t, \vec{\lambda})$ спостерігається на фоні завади $n(t)$, що являє суму двох незалежних компонентів

$$n(t) = n_1(t) + n_2(t). \quad (23)$$

Це означає, що вхідна напруга приймача дорівнює

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t). \quad (24)$$

де $u_1(t) = s(t, \vec{\lambda}) + n_1(t)$, $u_2(t) = n_2(t)$.

Нехай ця напруга рівномірно продискретизована за часом і нехай відома спільна умовна щільність імовірності $p(u_{1k}, u_{2k} | \vec{\lambda})$, де $u_k = u(t_k)$. Через незалежність процесів $n_1(t)$ і $n_2(t)$ маємо

$$p(u_{1k}, u_{2k} | \vec{\lambda}) = p_{U1}(u_{1k} | \vec{\lambda}) \cdot p_{U2}(u_{2k}). \quad (25)$$

Представимо функцію $p_{U1}(u_k | \vec{\lambda})$ рядом Тейлора по s в околиці точки s_k

$$p_{U1}(u_k | \vec{\lambda}) \approx p_{U1}(s_k) + p'_{U1}(s_k) \cdot (u_k - s_k) + 0,5 p''_{U1}(s_k) \cdot (u_k - s_k)^2,$$

де

$$p'_{U1}(s_k) = \frac{dp_{U1}(u_k | \vec{\lambda})}{ds_k(\vec{\lambda})}, \quad p''_{U1}(s_k) = \frac{d^2 p(u_k | \vec{\lambda})}{ds_k^2(\vec{\lambda})}.$$

У результаті отримаємо функцію правдоподібності всієї реалізації \vec{u} , що спостерігається, вхідної напруги приймача

$$p(\vec{u} | \vec{\lambda}) = C^K + 0,5 C^{K-1} p''_{n1}(0) \sum_{k=1}^K s_k^2(\vec{\lambda}) - C^{K-1} p''_{n1}(0) \sum_{k=1}^K u_k s_k(\vec{\lambda}), \quad (26)$$

де $C = p_{n1}(0) + 0,5 p''_{n1}(0) \cdot \sigma_2^2$.

Таким чином, правило, яке розв'язує вираз (22), реалізується на базі обчислення кореляційних сум і енергії кожного із сигналів, що розрізняють коефіцієнти C , при яких визначаються статистичними характеристиками обох завад. Урахування величин цих коефіцієнтів є відмінністю отриманого результату від широко відомого кореляційного способу приймання сигналів. Вирішення, що базуються на спільному використанні виразів (22) і (26) у мінімальному ступені враховують характер завади $u_2(t)$ – тільки через її дисперсію σ_2^2 , що входить у коефіцієнт C .

Проведено синтез нелінійного приймача сигналів АЛСН в умовах дії адитивної двокомпонентної завади.

Для більш детального урахування властивостей завад до функції правдоподібності (26) застосовано апроксимацію більш складного й універсального типу, засновану на тотожній рівності

$$x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_k = \exp \left\{ \sum_{k=1}^K \ln x_k \right\}. \quad (27)$$

З урахуванням цієї тотожності вираз (26) набуває вигляду

$$p(\vec{u}|\vec{\lambda}) = \exp\left\{\sum_{k=1}^K \ln p(u_k|\vec{\lambda})\right\}. \quad (28)$$

Функція правдоподібності, що розрахована згідно з виразом (28), набуває вигляду

$$p(\vec{u}|\vec{\lambda}) = H - \sum_{k=1}^K v(u_k) \cdot u_k s_k(\vec{\lambda}) + \sum_{k=1}^K w(u_k) \cdot s_k^2. \quad (29)$$

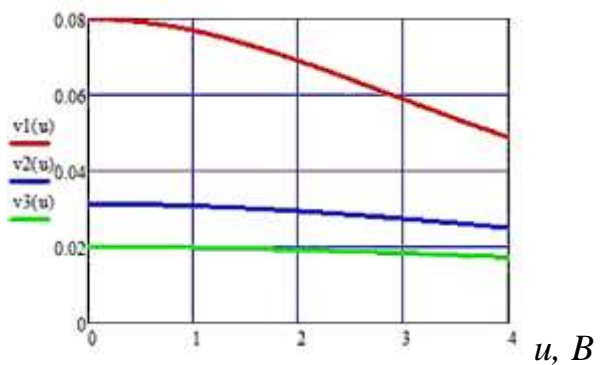
де $H = \sum_{k=1}^K \ln p(u_k)$, $v(u_k) = \frac{\rho}{1 + 0,5\rho u_k^2}$, $w(u_k) = \rho \cdot \frac{1 - 0,5\rho u_k^2}{(1 + 0,5\rho u_k^2)^2}$.

Таким чином, оптимальна обробка полягає в обчисленні двох сум:

$$q(\vec{\lambda}) = \sum_{k=1}^K v(u_k) \cdot u_k s_k(\vec{\lambda}), \quad (30)$$

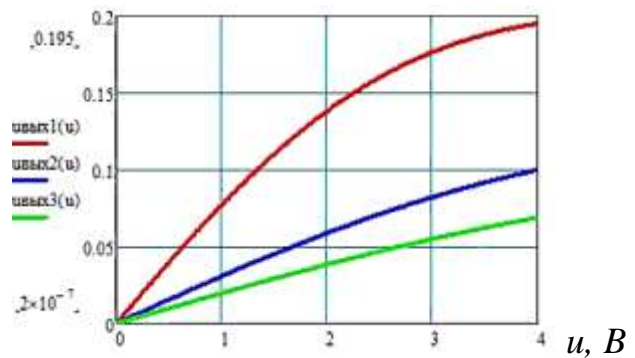
$$\mu(\vec{\lambda}) = \sum_{k=1}^K w(u_k) \cdot s_k^2(\vec{\lambda}). \quad (31)$$

Першу з них назвемо зваженою кореляційною сумою, другу – зваженою енергетичною сумою. Підсумовування проводиться з ваговими коефіцієнтами (рис. 4), що нелінійно залежать від величини u_k відліку, що надходить в обробку.



— $\sigma_1 = 5$ В ····· $\sigma_2 = 8$ В — — — $\sigma_3 = 10$ В

Рисунок 4 – Вагові функції вхідного сигналу



— $\sigma_1 = 5$ В ····· $\sigma_2 = 8$ В — — — $\sigma_3 = 10$ В

Рисунок 5 – Вихідна напруга нелінійного перетворювача

На рисунку 4 показано графіки залежності вагових коефіцієнтів від величини вхідного сигналу для останньої ситуації при $\sigma_1 = 5$ В, $\sigma_2 = 8$ В и 10 В.

На рисунку 5 подано графік залежності вихідної напруги безінерційного нелінійного перетворювача, що подає відліки $v_k = v(u_k) \cdot u_k$ у корелятор. Підсумкова схема (рис. 6) описує пристрій, що забезпечує оптимальну обробку сигналу АЛСН за наявності двокомпонентної завади (один з компонентів якої може бути імпульсним) $u_2(t)$, адитивні складові якої можуть мати довільні щільності розподілу ймовірностей миттєвих значень.

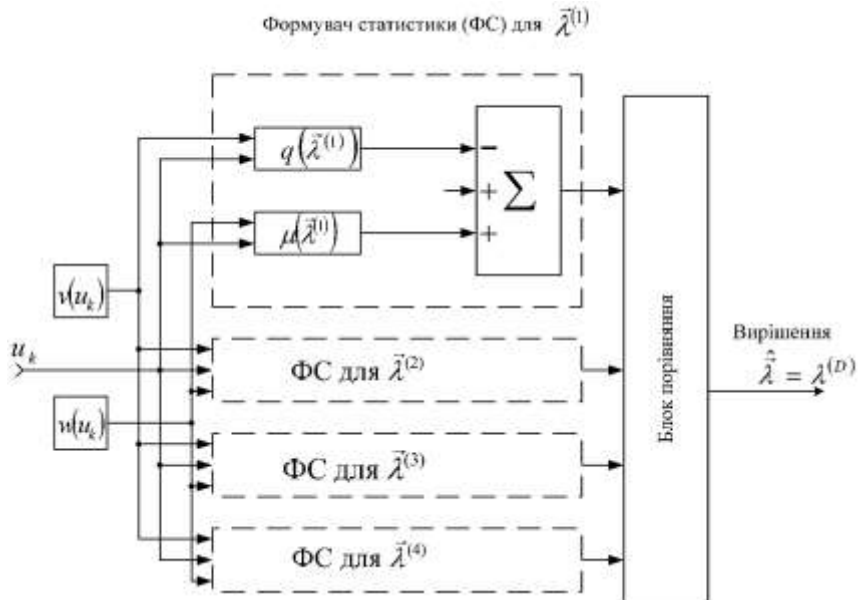


Рисунок 6 – Нелінійний приймач сигналів АЛСН

Відмінною рисою синтезованого пристрою є наявність вузлів нелінійної обробки вхідного сигналу, що забезпечують наростаюче подавлення адитивної суміші сигналу й шуму на тих часових інтервалах, де величина її напруги велика через дію імпульсних завад.

У четвертому розділі проведено апроксимацію та отримано аналітичний опис функції правдоподібності для ситуації, коли структурно-детермінований сигнал приймається на тлі адитивної двокомпонентної марківської завади

$$\begin{aligned}
 p(\vec{u} | \vec{\lambda}) = & H + \sum_{k=1}^{K-1} \frac{P'_{sk}}{p(u_{k+1}; \Delta t | u_k)} \cdot s_k + \sum_{k=1}^{K-1} \frac{P'_{sk+1}}{p(u_{k+1}; \Delta t | u_k)} \cdot s_k - \\
 & - \frac{1}{2} \left(\gamma_{sk}^2 \sum_{k=1}^{K-1} s_k^2 + \gamma_{sk+1}^2 \sum_{k=1}^{K-1} s_{k+1}^2 \right) + \dot{u}^2 \sum_{k=1}^{K-1} s_k \cdot s_{k+1}, \quad (32)
 \end{aligned}$$

де коефіцієнти γ_{sk} , γ_{sk+1} і \dot{u} є, в остаточному підсумку, функціями від інтервалу Δt часової дискретизації відліків. Введемо такі позначення:

$$y_{sk} = \frac{P'_{sk}}{p(u_{k+1}; \Delta t | u_k)}, \quad y_{sk+1} = \frac{P'_{sk+1}}{p(u_{k+1}; \Delta t | u_k)}, \quad (33)$$

Вони описують деякі інерційні нелінійні перетворювачі (інерційні – оскільки результат перетворення відліку u_{k+1} залежить від попереднього відліку u_k) вхідної напруги приймача. Введемо зважену кореляційну суму

$$q(\vec{\lambda}, \Delta t) = \sum_{k=1}^{K-1} [y_{sk} \cdot s_k(\vec{\lambda}) + y_{sk+1} \cdot s_{k+1}(\vec{\lambda})] \quad (34)$$

і зважену енергетичну суму

$$\mu(\vec{\lambda}, \Delta t) = 0,5 \sum_{k=1}^{K-1} \{ \gamma_{sk}^2(\Delta t) s_k^2(\vec{\lambda}) + \gamma_{sk+1}^2(\Delta t) s_{k+1}^2(\vec{\lambda}) - 2\dot{u}^2(\Delta t) s_k(\vec{\lambda}) s_{k+1}(\vec{\lambda}) \}. \quad (35)$$

Тоді

$$p(\vec{\mu} | \lambda) = H + q(\vec{\lambda}, \Delta t) - \mu(\vec{\lambda}, \Delta t). \quad (36)$$

Таким чином, структура функції правдоподібності – така сама, як аналогічна структура для випадку статистично незалежних відліків. Однак функціональний зміст цієї структури для випадку статистично незалежних відліків змінився докорінно:

- нелінійні перетворення вхідних відліків стали інерційними;
- в енергетичній сумі з'явилися доданки, що враховують перехресні зв'язки між сусідніми відліками корисного сигналу.

Відповідно до виразів (33), (34) і (35) побудовано структурні схеми вузла обчислення кореляційної суми (рис. 7) та вузла обчислення зваженої енергетичної суми (рис. 8) при фіксованій $\vec{\lambda}$.

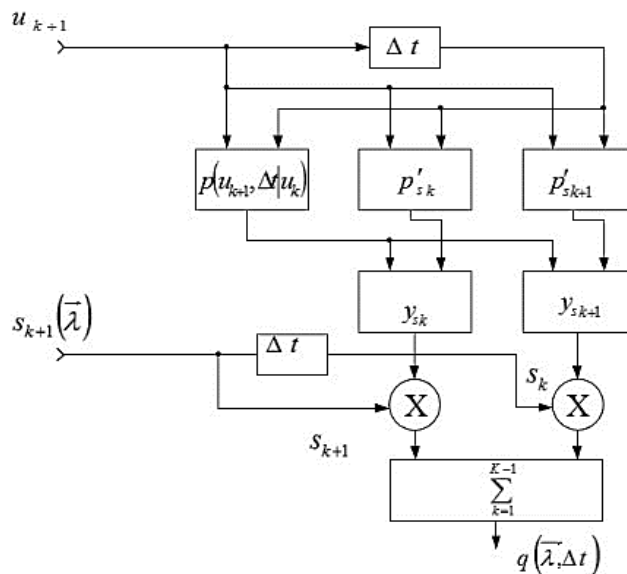


Рисунок 7 – Структурна схема вузла обчислення кореляційної суми

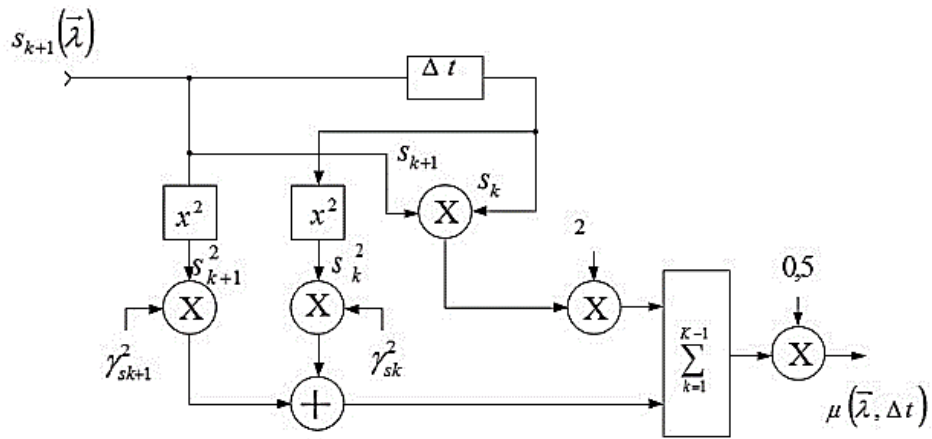


Рисунок 8 – Структурна схема вузла обчислення зваженої енергетичної суми

Результати моделювання процесу роботи нелінійних інерційних перетворювачів y_{sk} і y_{sk+1} подано на рисунках 9 і 10.

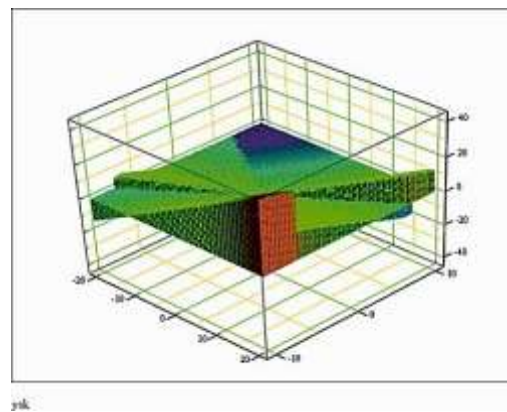
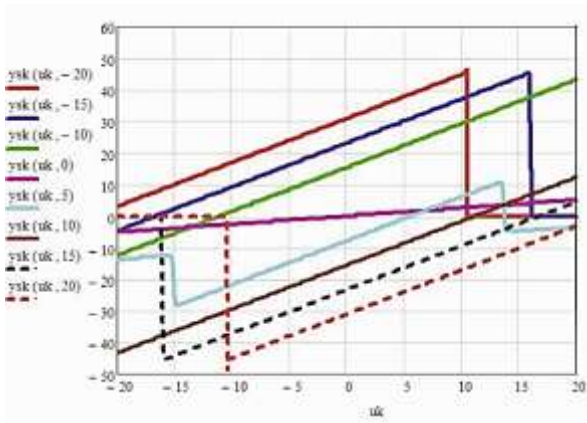


Рисунок 9 – Залежність коефіцієнта перетворення y_{sk} відліку u_k напруги вхідного сигналу від її величини при фіксованих величинах u_{k+1}

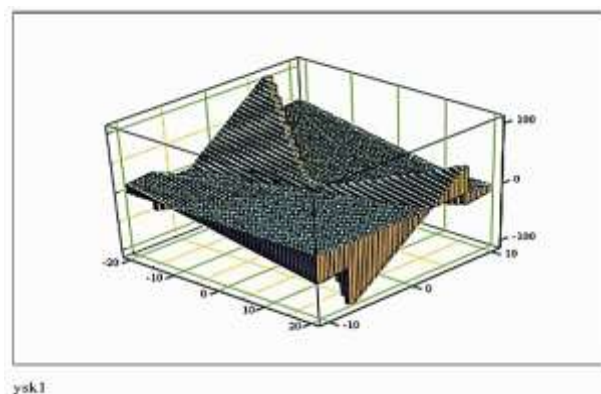
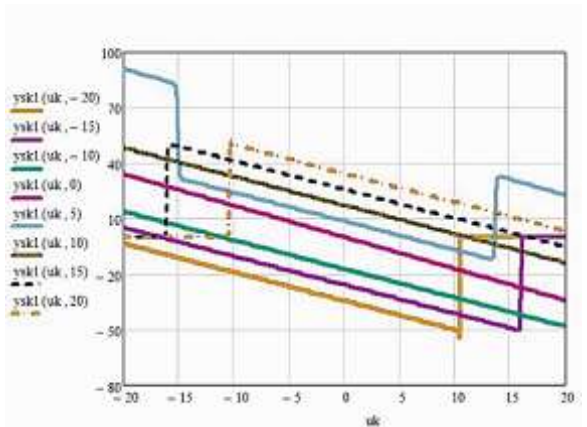


Рисунок 10 – Залежність коефіцієнта перетворення y_{sk+1} відліку u_k напруги вхідного сигналу від її величини при фіксованих величинах u_{k+1}

З рисунку 9 випливає, що при $\sigma_1=0,3$ В і $\sigma_2=1,75$ В динамічні характеристики коефіцієнта y_{sk} у більшій частині дослідженого діапазону вхідних напруг носять монотонний лінійно наростаючий характер. З рисунка 10 випливає, що при $\sigma_1=0,3$ В і $\sigma_2=1,75$ В динамічні характеристики коефіцієнта y_{sk+1} у більшій частині дослідженого діапазону вхідних напруг мають монотонний лінійно спадаючий характер. Вирішення про величину коефіцієнта передачі приймається на основі аналізу двох вхідних напруг – це u_{k+1} (у даний момент часу) і u_k (у попередній момент часу).

Проведено синтез приймача сигналів АЛСН, що спостерігаються на фоні гауссівської марківської завади, утвореної двома компонентами.

Покладемо, що кожна з чотирьох ситуацій (прийняття сигналу З, прийняття сигналу Ж, прийняття сигналу КЖ, відсутність корисного сигналу) рівновірогідна. Тоді в вирішальному правилі (22) маємо $P(\vec{\lambda}^{(l)}) = 0,25$ для будь-якої величини $l(l=1, \dots, 4)$ і це правило набуває такого вигляду:

$$\vec{\lambda} = \vec{\lambda}^{(D)}, \text{ якщо } p(\vec{u} | \vec{\lambda}^{(D)}) = \max_l \{ p(\vec{u} | \vec{\lambda}^{(l)}) \}. \quad (37)$$

Нехай ситуація відсутності сигналу має порядковий номер 4. Тоді $s_k = s_{k+1} = 0$ і згідно з (36) маємо

$$p(\vec{u} | \vec{\lambda}^{(4)}) = H. \quad (38)$$

Для інших ситуацій $l=1, 2, 3$, і опускаючи залежність від Δt , маємо функцію правдоподібності

$$p(\vec{u} | \vec{\lambda}^{(l)}) = H + q(\vec{\lambda}^{(l)}) - \mu(\vec{\lambda}^{(l)}). \quad (39)$$

Константа H при порівнянні за правилом (37) може бути виключена, і слід робити порівняння величин:

$$\rho_l = \rho(\vec{u} | \vec{\lambda}^{(l)}) =_{l=1,2,3} q(\vec{\lambda}^{(l)}) - \mu(\vec{\lambda}^{(l)}); \rho(\vec{u} | \vec{\lambda}^{(4)}) = 0. \quad (40)$$

Рішення про виявлення сигналу має місце для тих l^* , для яких $\rho_{l^*} = \rho(\vec{u} | \vec{\lambda}^{(l^*)}) > \rho(\vec{u} | \vec{\lambda}^{(4)})$, тобто при

$$\rho_{l^*} > 0. \quad (41)$$

Якщо ж для всіх $l=1, 2, 3$ будемо мати $\rho(\vec{u} | \vec{\lambda}^{(l)}) \leq 0$, то слід прийняти рішення про відсутність сигналу на оброблюваному інтервалі спостереження взагалі. Якщо ж сигнал виявлений, то приймаємо рішення

$$\vec{\lambda} \rightarrow \vec{\lambda}^{(D)} \text{ при } \rho_D = \rho(\vec{u} | \vec{\lambda}^{(D)}) = \max_l \{\rho_l\}. \quad (42)$$

Таким чином, окремий канал формування статистики для $\vec{\lambda}^{(4)}$ виявляється непотрібним, досить тільки додати схему порівняння з нулем. Структурна схема відповідного пристрою виявлення-розрізнення сигналів наведена на рисунку 11.

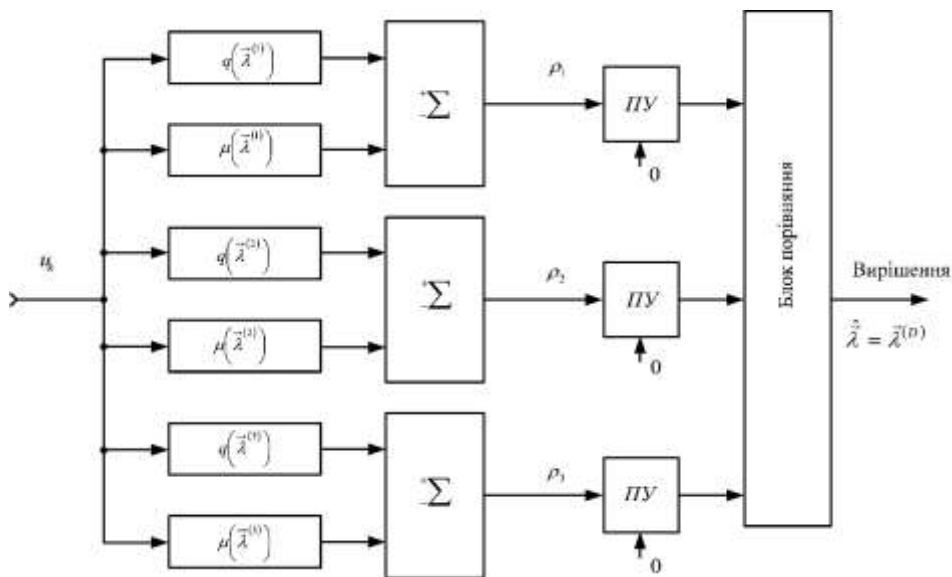


Рисунок 11 – Структурна схема приймача сигналів, що спостерігаються на фоні гауссівської марківської завади, утвореної двома компонентами

Прямокутники з позначеннями зважених кореляційної й енергетичної сум символізують блоки обчислення цих сум для різних значень інформаційного параметра. Блоки з символом Σ – суматори з інвертувальним («-») й неінвертувальним («+») входами. Блоки СУ – прилади порівняння з нулем.

Якщо ρ_1, ρ_2 и ρ_3 одночасно дорівнюють нулю, то блок порівняння винесе рішення про відсутність сигналу взагалі на інтервалі спостереження. Інформаційний параметр $\vec{\lambda}$ являє собою вектор, координатами якого є амплітуда, частота, початкова фаза й сукупність моментів переходу з 0 в 1 і назад, відповідна до конкретного сигналу З, Ж або КЖ.

З метою оцінки якості розрізнення сигналів, що забезпечується розробленим приймачем, було проведено комп'ютерне моделювання. Як результат були отримані оцінки теоретично граничного показника приймача – величини $R_{\text{пом}}$ помилки розпізнавання кодової послідовності сигналу системи АЛСН (параметри сигналу поклалися повністю відомими). Як розпізнаваний сигнал обрано «Червоно-жовтий».

Вихідні дані для моделювання: величини P_1 і P_C , коефіцієнтів, що характеризують відносний час дії імпульсної завади на інтервалі існування корисного сигналу; величина Δt інтервалу дискретизації вхідної напруги в часі; величини r_1 і r_2 коефіцієнтів кореляції випадкових процесів (ці процеси формують відповідно флуктуаційну й імпульсну завади); величини σ_1 і σ_2 середньоквадратичних напруг цих завад.

Числові величини параметрів моделювання такі: $P_1=0,9$; $P_C=0,1$; $\Delta t=5 \cdot 10^{-3}$ с; $r_1=0,15$; $r_2=0,9$; $\sigma_2=2,05$ В; $\sigma_1=0,05$ В, 0,3 В і 0,6 В. Імпульсна завада розташовувалася в першому міжімпульсному проміжку сигналу «Зелений». Результати моделювання наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Помилка $P_{\text{пом}}$ розпізнавання кодової послідовності інформаційного сигналу системи АЛСН

Напруга U_m , В	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
Величина $P_{\text{пом}}$ при $\sigma_1=0,05$ В	0,49	0,27	0,01	–	–	–	–	–	–	–
Величина $P_{\text{пом}}$ при $\sigma_1=0,3$ В	0,71	0,55	0,35	0,22	0,1	0,01	–	–	–	–
Величина $P_{\text{пом}}$ при $\sigma_1=0,6$ В	0,73	0,64	0,52	0,41	0,31	0,22	0,15	0,14	0,06	0,02

На підставі отриманих результатів побудовані криві залежності ймовірності $P_{\text{пом}}$ помилки від амплітуди U_m несучого коливання системи АЛСН (рис. 12).

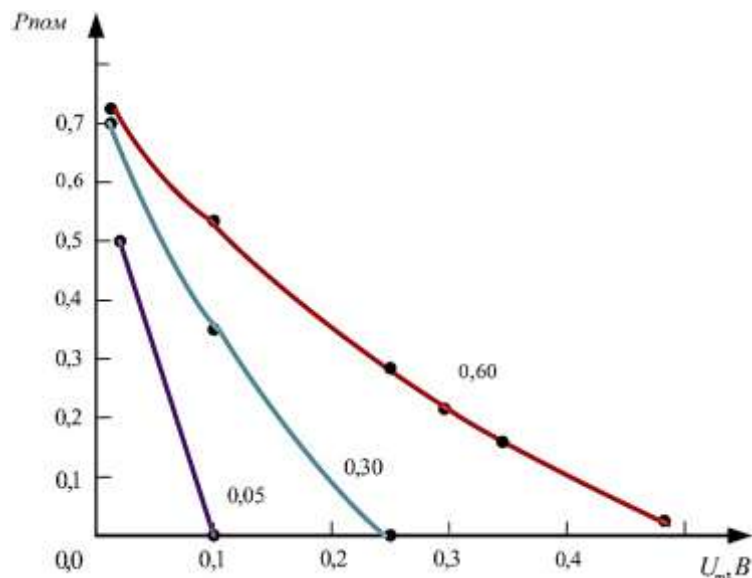


Рисунок 12 – Залежність величини $P_{\text{пом}}$ помилки розпізнавання сигналу від амплітуди U_m несучого коливання

Результати комп'ютерного моделювання дають змогу зробити висновок про досить високу вірогідність виявлення-розпізнавання сигналів (величина

помилки має порядок 10^{-2} на одну прийняту кодову послітку). Такий показник досягнуто в умовах одночасної дії на вході приймача флуктуаційної та імпульсної завад. При цьому напруга флуктуаційної завади мала величину того самого порядку, що й амплітуда корисного сигналу. Напруга імпульсної завади мала амплітуду значно вище амплітуди корисного сигналу.

У п'ятому розділі розроблено математичну модель суміші сигналу й трикомпонентної завади на вході колійних пристроїв залізничної автоматики

Запропоновано обчислювальну структуру, необхідну для оцінки параметрів сигналу $s(t)$ й завад $v_P(t)$ і $v_E(t)$ за критерієм мінімуму середнього квадрата помилки. З урахуванням стаціонарності процесу $n(t)$ мінімізації підлягає величина

$$\varepsilon_H^2 = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} \{u(t) - [v_P(t) + v_E(t) + s(t)]\}^2 dt, \quad (43)$$

де T_1 й T_2 – відповідно початок і кінець інтервалу спостереження.

Сполучивши початок інтервалу спостереження з нулем (тобто прийнявши $T_1 = 0$) і вважаючи, що спостереження рівномірно продискретизовані за часом з інтервалом Δt (тобто при числі відліків K маємо $T_2 = (K - 1) \cdot \Delta t$), прийдемо до необхідності мінімізації величини

$$\varepsilon_K^2 = \frac{1}{K - 1} \cdot \sum_{k=1}^K \{u_k - [v_{Pk} + v_{Ek} + s_k]\}^2, \quad (44)$$

де $u_k = u(t_k) = u((k - 1) \cdot \Delta t)$

Помноживши обидві частини рівності (44) на постійний множник $(K - 1)$, отримуємо цільову функцію

$$\varepsilon^2 = (K - 1) \cdot \varepsilon_K^2 = \sum_{k=1}^K \{u_k - [v_{Pk} + v_{Ek} + s_k]\}^2. \quad (45)$$

У системі АЛСН використовують три інформаційні кодові сигнали: «Зелений» (З), «Жовтий» (Ж), «Червоно-жовтий» (К). Щоб сформулювати рішення щодо прийнятого сигналу, необхідно обчислити величини середніх квадратів помилок ε_0^2 у трьох каналах обробки. Кожному із цих каналів відповідає своя кодова обвідна $f(t)$. Слід вважати, що прийнятий той сигнал, для якого величина ε_0^2 найменша. Структурна схема відповідного пристрою оптимального приймання кодових сигналів наведена на рисунку 13.

Допоміжні блоки, що здійснюють перетворення аналогового сигналу в цифровий і зберігання постійних величин, на схемі не зображені.

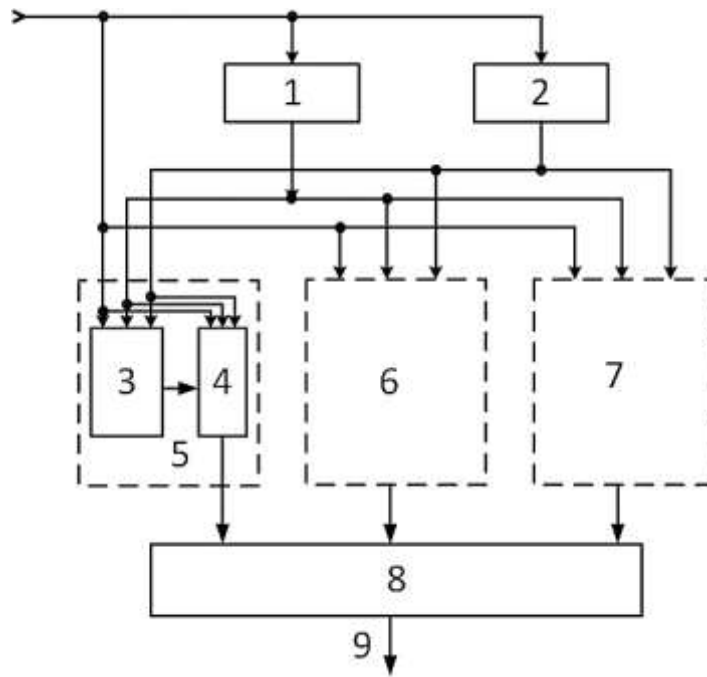


Рисунок 13 – Структурна схема пристрою приймання інформаційних сигналів АЛСН на фоні трикомпонентної завади:
 1 – формувач U_{mP}, τ_P ; 2 – формувач U_{mE}, φ_E ; 3 – формувач A, B, τ_s ; 4 – блок обчислення ε_0^2 ; 5 – канал З; 6 – канал Ж; 7 – канал К; 8 – блок вибору мінімуму; 9 – вирішення З, Ж або К

Для числової оцінки характеристик розробленого приймача було проведено комп'ютерне моделювання. Його результатом стали величини середніх квадратів помилок ε_0^2 у кожному із трьох каналів обробки. Як розпізнаваний сигнал обрано «Зелений» (З). На рисунку 14 подано графік кодового сигналу «зелений» (З), перекрученого імпульсною завадою, наведенням від лінії електропередач (ЛЕП) і гауссівською завадою.

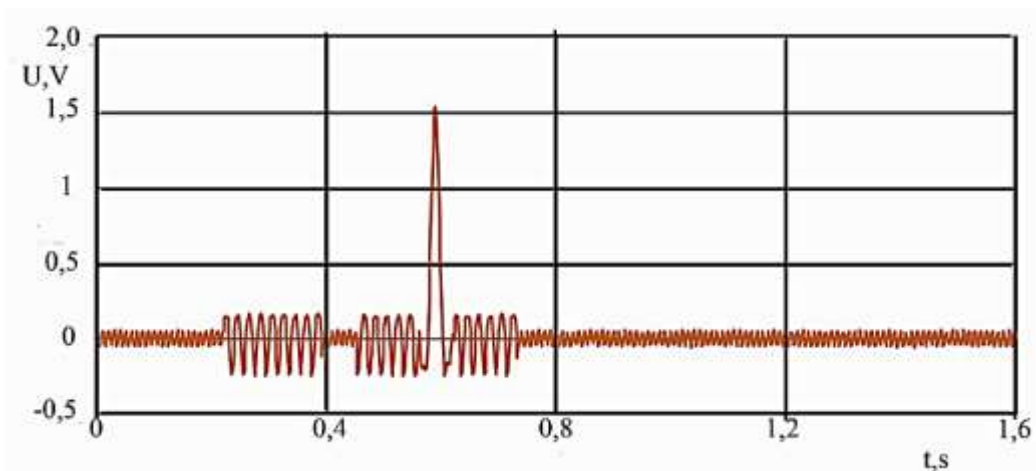


Рисунок 14 – Сигнал «Зелений» (З), перекручений імпульсною завадою, наведенням від ЛЕП і безперервним гауссівським шумом

При використанні запропонованої в роботі процедури вхідний сигнал був правильно ідентифікований як «Зелений» при $\varepsilon_0^2 = 0,225$ (у каналі К величина $\varepsilon_0^2 = 1,97$, а в каналі Ж величина $\varepsilon_0^2 = 1,83$). Оцінки параметрів сигналу в каналі З склали $\hat{U}_{ms} = 0,206\text{В}$, $\hat{\tau}_s = 0,4\text{с}$, $\hat{\varphi}_s = 76,2^\circ$, тобто виявилися дуже близькими до точних значень параметрів.

Для моделювання прийняті такі вихідні дані: амплітуда U_{ms} кодового сигналу (однакова для сигналів К, З, Ж); частота f_s і початкова фаза φ_s кодового сигналу (однакові для всіх сигналів); запізнювання в часі τ_s кодового сигналу щодо моменту початку спостереження (однакове для всіх сигналів); параметри імпульсної завади, параметри завади від ЛЕП і параметри гауссівського шуму були продискретизовані в часі з інтервалом $\Delta t = 0,004\text{с}$. На підставі результатів моделювання побудовані криві залежностей середнього квадрата помилки ε_0^2 в кожному з трьох каналів обробки відповідно від величини U_{mP} (рисунок 15) і від величини U_{mE} (рисунок 16).

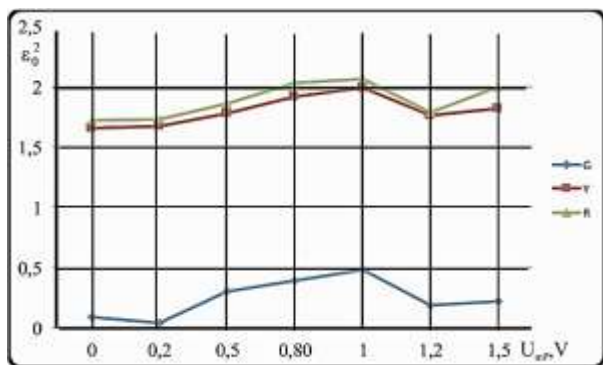


Рисунок 15 – Залежність середнього квадрата помилки апроксимації ε_0^2 в каналах К, З, Ж від амплітуди U_{mP} імпульсної завади

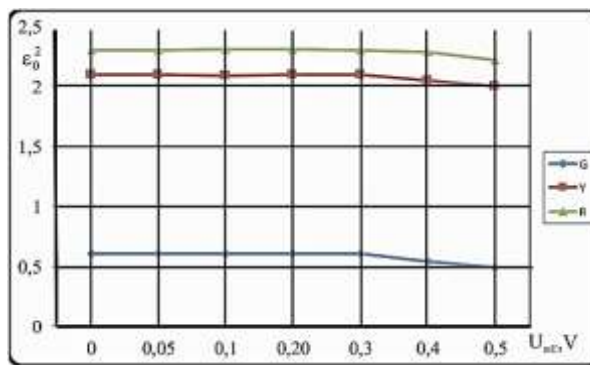


Рисунок 16 – Залежність середнього квадрата помилки апроксимації ε_0^2 в каналах К, З, Ж від амплітуди U_{mE} завади від ЛЕП

За результатами комп'ютерного моделювання можна зробити висновок, що в каналі синтезованого пристрою, відповідному до формування правильного рішення, величина помилки апроксимації приблизно в 6 разів менша, ніж в інших двох каналах. Це співвідношення залишається слушним, коли амплітуда імпульсної завади має над амплітудою сигналу перевагу аж у 7,5 разу. Вищевказане співвідношення слушне у випадку, коли імпульсні завади перевершують корисний сигнал в 5 разів, а завади від лінії електропередачі аж до 2,5 разу. Ці показники характеризують високу завадостійкість розрізнення кодових сигналів розробленим пристроєм у широкому діапазоні параметрів завад.

Розглянуто реалізацію запропонованих методів та засобів, що забезпечують підвищення завадостійкості систем управління залізничним

транспортом та проведено оцінку економічної ефективності від їх впровадження. Показано, що упровадження вищевказаних розробок дає змогу зменшити збитки від затримок поїздів внаслідок відмов пристроїв СЦБ, які залежно від їхнього характеру, призводять до порушень графіка руху поїздів. Очікується, що загальна сума економічного ефекту від впровадження запропонованих методів та засобів побудови завадостійких систем управління залізничним транспортом і застосування їх протягом шести років складатиме 3230,7 тис. грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну проблему формування завадостійких систем управління залізничним транспортом шляхом подальшого розвитку науково обґрунтованих методів, моделей, технічних засобів та стратегій прогнозування процесу розповсюдження, передачі, приймання та обробки інформаційних сигналів у каналах зв'язку систем залізничної автоматики.

1. Забезпечення можливості високодостовірного приймання службових і інформаційних сигналів у системах управління залізничним транспортом є основою їх ефективної роботи. Однак у процесі експлуатації рухомого складу в результаті складного електромагнітного поля виникають негативні впливи, що створюють ряд проблем у пристроях залізничної автоматики, енергопостачання й зв'язку. Лінії електропередач, тягові двигуни локомотивів, численні сторонні перетворювачі, радіоелектронні засоби, а також ряд природних процесів служать джерелами електромагнітних коливань, що заважають та проникають у канали зв'язку й спотворюють корисні сигнали, що поширюються по них. Це призводить до істотного зниження вірогідності прийнятих інформаційних повідомлень у цілому. Аналіз попередніх досліджень показав, що на даний момент, наукову проблему підвищення завадостійкості засобів залізничної автоматики досі не вирішено. Тому завдання побудови завадостійких систем управління залізничним транспортом, які значною мірою піддані впливу електромагнітних завад різного походження, є актуальною науково-прикладною проблемою.

2. На основі отриманої функції правдоподібності вхідної напруги приймача числових кодів АЛСН в умовах дії двокомпонентної завади з незалежними відліками, яка реалізується на базі обчислення кореляційних сум і енергії кожного з сигналів, які розпізнаються, та містить C коефіцієнти, визначено статистичні характеристики обох завад. В урахуванні величин цих коефіцієнтів і полягає відмінність отриманого результату від широко відомого кореляційного способу приймання.

3. Синтезовано нелінійний приймач сигналів АЛСН в умовах дії адитивної двокомпонентної завади, відмінною рисою якого є наявність вузлів нелінійної обробки вхідного сигналу, що забезпечують наростаюче подавлення адитивної суміші сигналу й шуму на тих часових інтервалах, де величина її напруги велика через дію імпульсних завад. Використання більш точної апроксимації спільної

щільності ймовірності розподілу сигналу АЛСН і завад дозволило замінити жорстку обробку вхідної реалізації адитивної суміші сигналу й завад «у цілому» на гнучку обробку, при якій ступінь подавлення завад на різних фрагментах реалізації різна й тим більша, чим інтенсивніші завади на цих ділянках.

4. На основі функції правдоподібності вхідної напруги приймача числових кодів АЛСН, що спостерігаються на фоні двокомпонентної гауссівської марківської завади, структура якої для випадку статистично незалежних відліків включає їхні інерційні нелінійні перетворення, враховано перехресні зв'язки між сусідніми відліками корисного сигналу. При цьому застосовано складну апроксимацію функції правдоподібності такого сигналу, що дозволило привести цю функцію до вигляду, що являє собою суму обчислювальних блоків.

5. Синтезовано приймач інформаційних сигналів АЛСН, що виконує оптимальну обробку сигналів, спостережуваних на фоні гауссівської марківської завади, утвореної двома компонентами, у якого операції обчислення зваженої кореляційної суми й зваженої енергетичної суми базуються на використанні нелінійних інерційних перетворювачів, що забезпечують наростаюче подавлення адитивної суміші сигналу й шуму на тих часових інтервалах, де величина її напруги велика через дію імпульсних завад. Відмінною рисою синтезованого пристрою є наявність вузлів нелінійної обробки вхідного сигналу. Результати комп'ютерного моделювання синтезованого приймача дозволяють зробити висновок про досить високу вірогідність виявлення-розпізнавання сигналів (величина помилки має порядок 10^{-2} на одну прийняту кодову послідовність). Такий показник досягнуто в умовах одночасної дії на вході приймача флуктуаційної й імпульсної завад. При цьому напруга флуктуаційної завади мала величину того самого порядку, що й амплітуда корисного сигналу. Напруга імпульсної завади мала амплітуду на порядок вище амплітуди корисного сигналу.

6. З урахуванням отриманого критерію оптимальності обробки адитивної суміші кодів сигналів АЛСН й трикомпонентної завади, виникла можливість на основі реалістичних припущень про статистичні взаємозв'язки сигналу й компонент завади досягнути підвищення завадостійкості в результаті урахування поправок до ізольованих відношень правдоподібності. Зазначені поправки враховують взаємо-кореляційні зв'язки сигналу й кожної з компонентів завади, а цільова функція являє собою взяті зі зворотним знаком суми, у якій кількість доданків обмежена кількістю ізольованих логарифмів відношення правдоподібності й поправкових функцій.

7. Синтезовано пристрій обробки числових кодів АЛСН в умовах дії адитивного впливу трикомпонентної завади, у якому реалізовано метод спільної оцінки параметрів сигналу й структурно-детермінованих завад. Обробка вхідних коливань у синтезованому пристрої приймання сигналів базується на відомій раніше максимізації відношення правдоподібності вхідної вибірки лише в першому наближенні. Підвищення завадостійкості досягнуто в ньому в результаті урахування поправок до ізольованих відношень правдоподібності. Зазначені поправки враховують взаємо-кореляційні зв'язки сигналу й кожної з

компонентів завади. Пристрій є гнучким до зміни параметрів завад і виконує розпізнавання прийнятого сигналу шляхом багатопараметричної мінімізації цільової функції, а саме – при мінімізації прямим перебором необхідна загальна кількість обчислень порядку N^n (де n – розмірність цільової функції, N – кількість її обчислень за кожним з параметрів), а при багатокроковій редукції розмірності загальна кількість обчислень становить набагато меншу величину порядку N^n , що дозволило забезпечити скорочення обчислювальних витрат шляхом багатокрокової редукції розмірності та високу завадостійкість розрізнення кодових сигналів у широкому діапазоні параметрів завад. За допомогою комп'ютерного моделювання показано, що в каналі синтезованого пристрою, відповідального за формування правильного рішення, величина помилки апроксимації приблизно в 6 разів менша, ніж в інших двох каналах. Це співвідношення залишається слухним, коли амплітуда імпульсної завади має над амплітудою сигналу перевагу аж у 7,5 разу. Вищевказане співвідношення слухне у випадку, коли імпульсні завади перевершують корисний сигнал у 5 разів, а завади від лінії електропередач аж до 2,5 разу. Ці показники характеризують високу завадостійкість процесу розпізнавання кодових сигналів розробленим пристроєм у широкому діапазоні параметрів завад.

8. Удосконалено динамічну модель каналу передачі сигналів АЛСН, яка враховує рух поїзда і на відміну від існуючих дала змогу встановити залежність впливу швидкості руху поїздів на роботу систем автоматичного керування рухомим складом.

9. Удосконалено математичну модель для часової залежності струму шунта при русі локомотива на частині дільниці прямої колії з урахуванням його електромагнітного зв'язку з частиною дільниці відгалуження, що на відміну від існуючих дозволила визначити коефіцієнт передачі сигналу по струму контрольованої дільниці з урахуванням частотної залежності опорів і діючого значення розглянутої гармоніки електрорушійної сили генератора, а також запропонувати його схему заміщення.

10. Шляхом проведення теоретичних досліджень взаємної кореляції компонентів завад роботі ТРК враховано величину впливу крос-кореляційних компонентів характерних завад у процесі побудови завадостійких засобів обробки інформаційних сигналів. Встановлено, що утворювані при оптимальній обробці сигналів ТРК методом сукупного оцінювання параметрів сигналів і завад крос-кореляційні компоненти завад мають достатньо малі значення порівняно з іншими доданками виразу, що підлягає оптимізації. В подальших дослідженнях доцільно розглянути можливість спрощення засобів обробки сигналів, обумовлену врахуванням виявленого факту.

11. Набула подальшого розвитку математична модель процесу приймання числових кодів АЛСН, що враховує протікання струму крізь рейкову лінію у перерізі приймання та припускає частотний метод аналізу електромагнітних параметрів рейкових кіл, що на відміну від існуючих дозволяє отримати схему заміщення блок-дільниці у вигляді структури, яка бере до уваги як електричні властивості рейкової лінії, так і динаміку руху поїзда.

12. Основні наукові результати дисертації передані для впровадження в 2016–2017 рр. на регіональну філію «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» на ділянках прискороного руху Гребінка–Полтава та Полтава–Лозова. Синтез завадостійких пристроїв приймання числових кодів АЛСН та інформаційних сигналів ТРК надав змогу зменшити втрати на 12–15 % від позаграфікових зупинок поїздів і зниження (тимчасового обмеження) їх швидкості внаслідок збоїв у роботі пристроїв залізничної автоматики. Упровадження вищевказаних розробок надають можливості зменшити збитки від затримок поїздів внаслідок відмов пристроїв СЦБ, які залежно від їхнього характеру призводять до порушень графіка руху поїздів. Очікується, що загальна сума економічного ефекту від впровадження запропонованих методів та засобів побудови завадостійких систем управління залізничним транспортом і застосування їх протягом шести років складатиме 3230,7 тис. грн, що підтверджено актом впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці:

1. Соболев Ю. В., Давиденко М. Г., Ананьева О. М., Сотник В. О. Математична модель каналу передачі сигналів числового коду АЛСН. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2010. № 119. С. 78-88.
2. Ананьева О. М. Динамічна модель каналу передачі сигналів АЛСН. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2011. № 121. С. 120-132.
3. Ананьева О. М. Математична модель блок-ділянки рейкового кола як формувача струму в перерізі приймання сигналів АЛСН. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2011. № 122. С. 43-51.
4. Ананьева О. М., Сотник В. О. Вплив неоднорідностей рейкової лінії на приймання сигналів АЛСН. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2011. № 124. С. 77-83.
5. Ананьева О. М., Сотник В. О., Соболев Ю. В. Математична модель вхідного сигнального струму локомотивного приймача числових кодів АЛСН. *Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту*. 2011. № 26. С. 67-70.
6. Ананьева О. М., Давиденко М. Г., Сотник В. О., Бабаєв М. М. Часові характеристики струму шунта та електрорушійної сили локомотивних котушок системи АЛСН. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2011. № 127. С. 56-78.
7. Придубков П. Я., Прогонный А. Н., Ананьева О. М. Магнитное поле рельсовых цепей и электромагнитные параметры систем транспортных средств.

Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. 2012. № 128. С. 174-181.

8. Бабаєв М. М., Ананьева О. М., Давиденко, М. Г., Сотник В. О. Математична модель каналу передачі сигналів числових кодів АЛСН. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. № 134. С. 187-198.

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

9. Ананьева О. М., Давиденко М. Г. Временные зависимости сигнального тока локомотивного приемника числовых кодов АЛСН. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2015. № 154. С. 126-135.

10. Ананьева О. М., Давиденко М. Г. Прием сигналов АЛСН в условиях действия двухкомпонентной помехи. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2015. № 5. С. 52-56.

11. Ананьева О. М., Давиденко М. Г. Синтез нелинейного приемника сигналов АЛСН в условиях действия аддитивной двухкомпонентной помехи. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2015. № 6. С. 46-50.

12. Ананьева О. М., Давиденко М. Г., Бабаєв М. М. Математическая модель двухкомпонентной аддитивной помехи в виде марковского процесса. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2016. № 4. С. 20-24.

13. Ананьева О. М., Давиденко М. Г., Бабаєв М. М. Виды и параметры помех, действующих в канале связи системы автоматической локомотивной сигнализации. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. № 163. С. 20-25.

14. Ананьева О. М., Давиденко М. Г., Бабаєв М. М. Аппроксимация функции правдоподобия аддитивной смеси сигнала и двухкомпонентной помехи. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2016. № 5. С. 9-13.

15. Панченко С. В., Ананьева О. М., Давиденко М. Г., Бабаєв М. М. Инженерная интерпретация функции правдоподобия аддитивной смеси сигнала и двухкомпонентной помехи. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2017. № 1. С. 3-11.

16. Ananieva O., Babaiev M., Blyndiuk V., Davidenko M. Design of a device for optimal reception of signals against the background of a two-component Markov interference *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 6, Issue 9 (90). P. 4 – 9. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.118869 (видання індексується у базі Scopus).

17. Ананьева О. М. Математическая модель смеси сигнала и многокомпонентной помехи на входе путевых устройств железнодорожной

автоматики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – № 6. 2017. С. 16-19.

18. Ананьева О. М. Приём информационных сигналов систем железнодорожной автоматики в условиях действия трёхкомпонентной помехи. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. № 1. 2018. С. 24-28.

Патенти:

19. Рельсове коло: пат. на винахід 101093 Україна. МПК В 61 L 23/00 / Бабаєв М. М., Кошевий С. В., Сотник В. О., Романчук В. Б., Ананьева О. М., Саяпіна І. О.; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № а 2011 10949; заявл. 13.09.2011; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4. 5 с.

20. Пристрій для прийому сигналу з рейкового кола: пат. на винахід 105586 Україна. МПК В 61 L 23/00 / Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Чепцов М. М., Ананьева О. М., Саяпіна І. О.; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № а 2013 04049; заявл. 01.04.2013; опубл. 26.05.2014, Бюл. № 10. 4 с.

21. Індуктивно-дротовий датчик для виявлення транспортного засобу в межах певної ділянки шляху: пат. на винахід 101096 Україна. МПК В 61 L 1/00 / Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Ананьева О. М., Гребенюк В. Ю.; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № а 201111355 заявл. 26.09.2011; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4. 5 с.

Праці апробаційного характеру:

22. Ананьева О. М. Формування сукупності інформаційних даних про склад і параметри руху поїздів. *Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины*. Матеріали 22-ї міжнародної науково-практичної конференції, (м. Алушта, вересень 2009 р.). *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2009. № 4 (додаток). С. 9.

23. Ананьева О. М. Давиденко М. Г., Сотник В. О. Математичні моделі каналу передачі сигналів числових кодів автоматичної локомотивної сигналізації. *Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте*. Тезисы IV Международной научно-практической конференции (15-19 февраля 2011 г.). Днепропетровськ: ДНУЗТ, 2011. С. 8.

24. Ананьева О. М. Модель каналу передачі сигналів автоматичної локомотивної сигналізації. *Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины*. Матеріали 24-ї міжнародної науково-практичної конференції (м. Алушта, вересень 2011 р.). *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2011. № 5. С. 121.

25. Ананьева О. М., Сотник В. О. Математична модель вхідного сигналу локомотивного приймача системи АЛСН. *Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железных дорог Украины*.

Материалы стендовых докладов 25 международной конференции (м. Алушта, 24-29 вересня 2012 р.). *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2012. № 4 (приложение). С. 111.

26. Ананьева О. М. Математичні моделі блок-ділянки рейкового кола як формувача струму в перерізі приймання сигналів АЛСН. *Внедрение перспективных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и средств телекоммуникаций на базе цифровизации*. Тезиси докладов 26 международной научно-практической конференции (м. Алушта, 23-28 вересня 2013 р.). *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2013. № 4 (додаток). С. 98.

27. Ананьева О. М. Дослідження додаткових інформаційних ознак стану рейкової лінії за рахунок удосконалення безперервних колійних перетворювачів. Тези доповідей 75-ї міжнародної науково-технічної конференції (м. Харків, 24-25 квітня 2013 р.). *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. № 136. С. 286-287.

28. Ананьева О. М. Методи та моделі прогнозування ефективності роботи систем залізничної автоматики. Тези доповідей 76 міжнародної науково-практичної конференції. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. № 143 (додаток). С. 230.

29. Ананьева О. М. Динамічна модель каналу передачі сигналів АЛСН. Тезиси докладов 27 международной научно-практической конференции (15-17 квітня 2014 р.). *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2014. № 4 (додаток). С. 57.

30. Ананьева О. М. Формування сукупності інформаційних даних про склад і параметри руху поїздів. Тезиси докладов 28 международной научно-практической конференции (м. Харків, 24-26 вересня 2014 р.). *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2015. № 4 (додаток). С. 48.

31. Ананьева О. М. Методи та моделі прогнозування ефективних параметрів керування рухомим складом залізничного транспорту. Тези доповідей 78 міжнародної науково-практичної конференції. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. № 160 (додаток). С. 31.

32. Ананьева О. М. Синтез нелинейного приемника числовых кодов автоматической локомотивной сигнализации. Матеріали стендових доповідей 29 міжнародної науково-практичної конференції (27-29 вересня 2016 р.). *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2016. № 4 (додаток). С. 13-14.

33. Ананьева О. М., Давиденко М. Г., Бабаев М. М. Синтез базовых узлов устройства оптимального приёма сигнала на фоне двухкомпонентной марковской помехи (м. Херсон, 29 вересня 2017 р.). *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування*. Матеріали 8-ї міжнародної науково-практичної конференції. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2017. С. 383-386.

34. Ананьева О. М. Оптимальный прием сигналов на фоне двухкомпонентной марковской помехи. *Информатика, управління та штучний інтелект*. Матеріали четвертої міжнародної науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. С. 8.

35. Ананьева О. М. Принципи побудови завадостійких систем залізничної автоматики *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*. Тези доповідей 79 міжнародної науково-технічної конференції (м. Харків, НТУ «ХПІ», 21-23 листопада 2017 р.). *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. № 169 (додаток). С. 111-112.

Додаткові праці:

36. Ананьева О. М. Оцінка параметрів хвильових сигналів тональних рейкових кіл. *Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту*. 2009. № 17. С. 55-61.

37. Ананьева О. М. Контроль ефективності експлуатації тональних рейкових кіл систем інтервального регулювання рухом поїздів. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2009. № 94. С. 116-120.

38. Ананьева О. М. Підвищення ефективності роботи засобів інтервального регулювання рухом поїздів. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2009. № 102. С. 209-215.

39. Ананьева О. М. Оцінка параметрів відбитого сигналу, обумовленого наявністю тріщини у рейках. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2010. № 113. С. 56-61.

40. Ананьева О. М. Синтез пристрою оцінки хвильових параметрів тональних рейкових кіл. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2010. № 116. С. 116-120.

41. Пристрій контролю проходження відчепа: пат. на винахід 75537 Україна. МПК В 61 L 1/00 / Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Чепцов М. М., Давиденко М. Г., Ананьева О. М., Гребенюк В. Ю.; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № u 201204385; заявл. 09.04.2012; опубл. 10.12.2012, Бюл. №23. 5 с.

42. Пристрій для контролю проходження відчепа: пат. на винахід 102472 Україна. МПК В 61 L 1/00 / Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Чепцов М. М., Давиденко М. Г., Ананьева О. М., Гребенюк В. Ю.; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № а 201204243; заявл. 25.09.2012; опубл. 10.07.2013, Бюл. №13. 5 с.

43. Колійний індуктивний датчик: пат. на винахід 102929 Україна. МПК В 61 L 1/00 В 61 L 25/00 / Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Чепцов М. М., Давиденко М. Г., Ананьева О. М., Прилипко А. А.; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № а 2012 04102; заявл. 03.04.2012; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16. 5 с.

44. Стрілочний електропривід: пат. на винахід 101436 Україна. МПК H04K 3/00 H03J 7/00 / Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Ананьєва О. М., Богатир Ю. І.; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № а201201334; заявл. 23.09.2011; опубл. 25.03.2012, Бюл. № 6. 5 с.

45. Рейкове коло : пат. на корисну модель 68742 Україна. МПК В 61 L 23/00 / Бабаєв М. М., Кошевий С. В., Сотник В. О., Романчук В. Б., Ананьєва О. М., Саяпіна І. О.; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № u 2011 11106; заявл. 19.09.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7. 5 с.

46. Колійний індуктивний датчик: пат. на корисну модель 75961 Україна. МПК В 61 L 1/00 / Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Чепцов М. М., Давиденко М. Г., Ананьєва О. М., Прилипко А. А.; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № u 2012 04231; заявл. 05.04.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24. 5 с.

47. Індуктивно-дротовий датчик для виявлення транспортного засобу в межах певної ділянки шляху: пат. на корисну модель 69618 Україна. МПК В 61 L 1/00 / Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Ананьєва О. М., Гребенюк В. Ю.; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № u 201111537; заявл. 29.09.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9. 4 с.

48. Стрілочний електропривід: пат. на корисну модель 68099 Україна. МПК В61L 5/00 / Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Ананьєва О. М., Богатир Ю. І.; власник Українська державна академія залізничного транспорту. № u201111437; заявл. 28.09.2011; опубл. 12.03.2012, Бюл. №5. 5 с.

АНОТАЦІЯ

Ананьєва О. М. Розвиток теоретичних основ побудови завадостійких систем управління залізничним транспортом – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми підвищення ефективності управління рухомим складом залізниць на основі розробки науково обґрунтованих завадостійких методів і засобів передачі, приймання та обробки інформаційних сигналів в каналах зв'язку систем залізничної автоматики. Отримано функції правдоподібності вхідної напруги приймача числових кодів АЛСН в умовах дії двокомпонентної завади з незалежними відліками, двокомпонентної гауссівської марківської завади та трикомпонентної завади. Розроблено математичну модель каналу передачі сигналів АЛСН. Виконано синтез приймача числових кодів АЛСН в умовах впливу імпульсної завади, безперервної завади від лінії електропередач і безперервного гауссівського шуму. Результати передано для впровадження на регіональну філію «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця». Впровадження вищевказаних розробок дає можливість зменшити збитки від затримок поїздів

внаслідок відмов приладів залізничної автоматики. Очікується, що загальна сума економічного ефекту від впровадження запропонованих методів і засобів побудови завадостійких систем керування залізничним транспортом і застосування їх протягом шести років буде становити 3230,7 тис. грн. Окремі розділи дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі УкрДУЗТ.

Ключові слова: рухомий склад, рейкова лінія, тяговий струм, математична модель, сигнал, канал зв'язку, перешкода, лінія електропередачі.

АННОТАЦІЯ

Ананьева О. М. Развитие теоретических основ построения помехоустойчивых систем управления железнодорожным транспортом – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2018.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной проблемы повышения эффективности управления подвижным составом железнодорожного транспорта на основе разработки научно обоснованных помехоустойчивых методов и средств передачи, приема и обработки информационных сигналов в каналах связи систем железнодорожной автоматики. Получені функції правдоподібності входного напруження приймача числових кодів АЛСН в умовах дії двохкомпонентної помехи з незалежними отсчетами, двохкомпонентної гауссової марковської помехи і трьохкомпонентної помехи. Розроблена математична модель каналу передачі сигналів АЛСН. Виконан синтез приймача числових кодів АЛСН в умовах впливу імпульсної помехи, неперервної помехи від лінії електропередач і неперервного гауссового шуму. Результати передані для впровадження на регіональний філіал «Южня залізниця» ПАО «Укрзалізниця». Впровадження вищеуказаних розробок дає можливість зменшити втрати від затримок поїздів внаслідок відмов пристроїв залізничної автоматики. Очікується, що загальна сума економічного ефекту від впровадження запропонованих методів і засобів побудови завадостійких систем керування залізничним транспортом і застосування їх впродовж шести років буде становити 3230,7 тис. грн. Окремі розділи дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі УкрДУЗТ.

Ключевые слова: подвижной состав, рельсовая линия, тяговый ток, математическая модель, сигнал, канал связи, помеха, линия электропередачи.

ABSTRACT

Ananieva O.M. The development of theoretical bases of the construction of jamproof systems of railway transport management – Manuscript.

Dissertation is to obtain the degree of Doctor of Technical Sciences, speciality 05.22.20 – operation and maintenance of means of transport. – Ukrainian State University of railway Transport, MES of Ukrain, Kharkiv, 2018.

The thesis is dedicated to the solution of a scientific and engineering problem of the improvement of carrying capacity and safety of train operation by means of further development of theoretical bases of the construction of interference proof systems of railway transport management. The theoretical and experimental investigations of the work are aimed at the further development of new scientifically grounded methods, models, strategies of constructing interference proof systems of railway rolling stock management.

It is established that at high-speed operation and high-speed running the safety of railway transport is influenced considerably by the fail-safe operation of the existing collision avoidance systems of train operation, audio frequency track circuits, the systems of automatic cab signalling in which unwanted electromagnetic processes can appear due to the uncontrolled fluctuations of the parameters in their communication channels. Theoretical investigations of the nature of a magnetic field distribution created by the lengths of rails have been conducted and analytic dependencies of the parameters of the given field on its geometric dimensions and magnetization have been established that made it possible to determine the influence of a rail line inhomogeneity on the distribution of information signals in track circuits and communication channels of automatic cab signalling systems.

Theoretical researches of mutual correlation of the components which interfere the work of audio frequency track circuits have been conducted. The aim of the researches was to detect the conditions under which cross-correlation components of interferences which influence the final estimates of the parameters of a desired signal and the noise itself have negligibly small influence on the mentioned final estimates which made it possible to devise interference proof devices for receiving and processing information signals of track circuits.

The mathematical model of a base process of the numerical codes reception by the automatic cab signalling, namely, current flow through a rail line in a reception section has been constructed.

The developed generic dynamic model of a signal transmission channel of automatic cab signalling which takes into account train movement and unlike the existing ones made it possible to establish the dependence of train speed influence on the work of rolling stock automatic control systems.

The mathematical model for a temporary dependency of shunt current when a locomotive is in motion on a subsection of a straight track taking into account its electromagnetic connection with a branch subsection has been obtained.

The mathematical model of a two-component additive interference in the form of Markov process has been obtained.

The synthesis of a numerical code receiver of automatic cab signaling with the numerical codes being observed against the background of a two-component Gaussian and Markov interference has been fulfilled.

The optimality criterion of the processing of a code signal additive mixture of automatic cab signaling and a three-component interference has been obtained.

The device to process numerical codes of automatic cab signaling in the conditions of additive influence of pulse interference, continuous interference from power lines and continuous Gaussian interference, in which the method of overall estimation of a signal parameters and the parameters of structurally determined interferences.

The results of separate parts of the present thesis are used in the teaching and learning process at the Department of Automation and Computer Telecontrol of Train Operation and advanced training (NNIPPKK) of Ukrainian State University of Railway Transport while training chiefs, deputy chiefs, chief engineers of signaling and communication services. The main scientific results of the thesis have been sent to branch “South Railway” of JSC “Ukrzaliznytsia” for application on the sections of high-speed running Hrebinka – Poltava and Poltava – Lozova in 2016–2017. The application of the above mentioned developments makes it possible to reduce the losses from train delays due to the failures of signaling and interlocking devices which depending on their nature lead to the disruption of train schedules. The total sum of cost advantages from the introduction of the proposed methods and means of the construction of jamproof systems of railway transport management and their application during six years is expected to be 3230,7 thousand UAH.

Key words: rolling stock, rail line, traction current, mathematical model, signal, communication channel, interference, power line.

АНАНЬЄВА ОЛЬГА МИХАЙЛІВНА

УДК 621.391:681.518

**РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ПОБУДОВИ ЗАВАДОСТІЙКИХ
СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

доц. Кошевий С. В.

Підписано до друку: «30» жовтня 2018
Формат 60×84 1/16. Папір офсетний. Друк – цифровий.
Умовн. – друк. арк. 1,8. Обл. – вид. арк. 1,9
Замовлення № 401 Наклад 150 прим.

Видавництво УкрДУЗТ. Свідоцтво ДК № 6100 від 21.03.2018 р.
Друкарня УкрДУЗТ: 61050, м. Харків, майдан Феєрбаха,7