

Міністерство освіти і науки України
Українська державна академія залізничного транспорту

СОТНИК ВАСИЛЬ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.391:681.518

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ
ДЕШИФРУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів в Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Панченко Сергій Володимирович,
Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, професор кафедри, ректор

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Фурман Ілля Олександрович,
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій, завідувач кафедри;

кандидат технічних наук, доцент
Маловічко Володимир Володимирович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра автоматики, телемеханіки та зв'язку, доцент кафедри.

Захист відбудеться “ 16 ” квітня 2015 р. о “ ____ ” годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розіслано “ ____ ” березня 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А. В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Безпечна та безперебійна робота залізничного транспорту значно залежить від надійної роботи засобів залізничної автоматики та зв'язку. При цьому особлива роль у забезпеченні ефективної та безпечної роботи залізниць належить системам інтервального регулювання руху поїздів (ІРРП), а також локомотивним системам сигнального авторегулювання. Це потребує подальшого удосконалювання систем автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН), основним призначенням яких є виключення можливості зіткнення поїздів при порушенні інтервалів та перевищенні припустимих швидкостей руху. В системах АЛСН передача сигнальної інформації з колії на локомотив здійснюється завдяки індуктивному каналу між рейковою лінією та локомотивними приймальними пристроями. На якість роботи такого каналу негативно впливає значна кількість електромагнітних завад різного походження, що призводить до спотворення прийнятої локомотивними пристроями сигнальної інформації. Типові системи АЛСН мають обмежену надійність. Відмови в їхній роботі обумовлено різними причинами. Це й несправності локомотивних приладів АЛСН, викривлення кодових сигналів за рахунок завад тягового струму або недосконалість схем кодування рейкових кіл. Причиною збоїв у роботі систем АЛСН є також завади, які виникають при проходженні локомотивами стиків, що ізолюють окремі ділянки колії, та елементів стрілочних переводів з підвищеним рівнем магнітної індукції. При цьому, існуючі системи АЛСН мають низьку інформативну здатність. Цей недолік значною мірою проявляється при збільшенні швидкості руху та його інтенсивності. В той же час, як показує аналіз багатьох досліджень, задача удосконалення методів та засобів підвищення ефективності функціонування систем АЛСН досі не вирішена. Із цього можна зробити висновок, що дослідження які спрямовані на її вирішення, є актуальними.

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

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до Концепції Державної цільової програми впровадження на залізничних коліях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 рр., (схвалена Постановою Кабінету Міністрів України № 979-р від 31.12.2004 р.), Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 рр. (затверджена Наказом Міністра транспорту та зв'язку України № 1259 від 14.10.2008 р.), Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 рр. (Постанова Кабінету Міністрів України № 1390 від 16.12.2009 р.). Автор брав участь як виконавець у науково-дослідній роботі «Дослідження і розробка методів автоматизованого управління рухомим складом залізничного транспорту» (номер держреєстрації 0111U002240).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є вирішення науково-прикладного завдання удосконалення методів та засобів дешифрування інформаційних сигналів систем автоматичної локомотивної сигналізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз наукових підходів та принципів побудови систем інтервального регулювання руху поїздів, та визначити шляхи їх удосконалення;
- розробити методи та математичні моделі, які можуть бути покладені в основу дослідження особливостей індуктивного зв'язку рейок та локомотивних котушок, що дозволить забезпечити оптимальну обробку кодових сигналів АЛСН (більш високий рівень завадозахищеності);
- розробити математичні моделі каналу передачі інформаційних сигналів та вхідного сигнального струму локомотивного приймача, що дозволить урахувати вплив електромагнітних завад в процесі прийому числових кодів АЛСН;
- провести аналіз кореляційних залежностей сигналів приймача числових кодів АЛСН, що дозволить розробити завадозахищені нейромережеві методи та моделі процесу їх ідентифікації;
- здійснити синтез дешифратора числових кодів АЛСН, що дозволить оптимізувати процес їх прийому та обробки;
- провести експериментальні дослідження впливу електромагнітних завад на роботу локомотивних пристроїв АЛСН, що дозволить перевірити ефективність функціонування розроблених методів та моделей дешифрування числових кодів.

Об'єкт досліджень – процес передачі, обробки та дешифрування інформаційних сигналів АЛСН.

Предмет досліджень – методи та моделі ідентифікації інформаційних сигналів АЛСН при наявності в індуктивному каналі зв'язку електромагнітних завад.

Методи дослідження. Визначення методів та математичних моделей, що були покладені в основу дослідження особливостей індуктивного зв'язку рейок та локомотивних котушок АЛСН базується на теорії електричних кіл і теорії диференціальних рівнянь; математичні моделі каналу передачі сигналів та вхідного сигнального струму локомотивного приймача – на теорії чотириполюсників; синтез дешифратора числових кодів АЛСН – на теорії оптимального приймання сигналів і на математичній статистиці; методи кореляційного аналізу залежностей приймача числових кодів та нейромережеві моделі розпізнавання інформаційних сигналів АЛСН – на основі теорії нейронних мереж, комплексного перетворення Фур'є та методів спектрального аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання удосконалення методів та засобів підвищення ефективності функціонування систем АЛСН шляхом визначення у реальному часі негативного впливу електромагнітних завад різного походження на їх роботу та запобігання спотворення прийнятої локомотивними пристроями сигнальної інформації.

Вперше:

- розроблено методи аналізу струму шунта при проходженні локомотива на окремих ділянках залізниці та побудовані математичні моделі каналу

передачі сигналів числового коду АЛСН, які були покладені в основу дослідження особливостей індуктивного зв'язку рейок та локомотивних котушок, що дозволило забезпечити оптимальну обробку кодів сигналів АЛСН;

– розроблено методи обробки інформації та побудовані математичні моделі каналу передачі вхідного сигнального струму локомотивного приймача, що дозволило врахувати вплив електромагнітних завад в процесі прийому числових кодів АЛСН;

– виконано синтез дешифратора числових кодів АЛСН, що дозволило оптимізувати процес їх прийому та обробки.

Удосконалено:

– методи кореляційного аналізу залежностей приймача числових кодів та нейромережеві моделі розпізнавання інформаційних сигналів АЛСН, що дозволило підвищити завадостійкість їх прийому та обробки.

Знайшли подальший розвиток:

– експериментальні дослідження впливу електромагнітних завад на роботу локомотивних пристроїв АЛСН, що дозволило перевірити ефективність функціонування розроблених методів та моделей дешифрування числових кодів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений комплекс моделей дає змогу оптимізувати процес (може підвищити завадостійкість) обробки інформаційних сигналів АЛСН при наявності в індуктивному каналі зв'язку електромагнітних завад. Впровадження нових методів дослідження особливостей індуктивного зв'язку рейок та локомотивних котушок дозволяє визначити негативний вплив на роботу системи АЛСН електромагнітних завад різного походження та запобігти спотворення прийнятої локомотивними пристроями сигнальної інформації. Запропоновані засоби дослідження струму сигналу АЛСН при проходженні шунта над стрілкою дозволяють визначати завади, які виникають при проходженні локомотивами стиків рейкових кіл та елементів стрілочних переводів з підвищеним рівнем магнітної індукції. Методи аналізу кореляційних залежностей приймача числових кодів АЛСН дають змогу визначати причини збоїв у роботі систем АЛСН, що обумовлені наявністю дуги на контактах реле, перетинанням з високовольтними лініями передач, поганим контактом у розподільних муфтах, асиметрією тягового струму. Вірогідність отриманих досліджень підтверджується збіжністю теоретичних результатів і результатів з обробки експериментальних даних, отриманих у ході функціонування розроблених імітаційних моделей. Результати окремих розділів роботи використовуються у навчальному процесі на кафедрі автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів та Інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Української державної академії залізничного транспорту при підготовці начальників, заступників начальників, головних інженерів служб сигналізації та зв'язку, начальників дистанцій сигналізації та зв'язку, заступників ШЧ з СЦБ, заступників ШЧ із зв'язку, головних інженерів ШЧ. Результати дисертаційної роботи впроваджені в 2013-2014 рр. на ДП «Південна залізниця» на ділянках

прискореного руху Гребінка – Полтава та Полтава – Лозова. Очікується, що загальна сума економічного ефекту від впровадження запропонованих методів та засобів дешифрування інформаційних сигналів АЛСН і застосування їх протягом шести років складе 1238,6 тис. грн.

Особистий внесок здобувача. Усі основні положення і результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно та проводилися в Українській державній академії залізничного транспорту. Автор сформулював мету, задачі досліджень, наукові положення, провів теоретичні та експериментальні дослідження. Крім того, у публікаціях, у яких відображено основні результати дисертації та які написані у співавторстві, здобувачу належать: [1] – поставлена задача удосконалення методів і засобів підвищення ефективності функціонування існуючих систем АЛСН; [2] – формалізовано основні параметри щодо реалізації математичної моделі каналу передачі сигналів числового коду АЛСН; [3] – визначено основні параметри впливу неоднорідностей рейкової лінії на приймання сигналів АЛСН; [4] – сформовано ряд основних принципів, які покладено в основу аналізу часових характеристик струму шунта; [6] – запропоновано процедуру реалізації моделі; [7] – запропоновано підходи до формування моделі вхідного сигнального струму числових кодів; [11] – формалізовано основні принципи обробки сигналів АЛСН в тональних рейкових колах (ТРК); [12] – розглянуті особливості побудови існуючих систем АЛСН; [13] – розглянуто методи приймання сигналів АЛСН в ТРК; [14] – проведено аналіз особливостей проходженні приймальними котушками АЛСН зони стрілочних переводів; [14] – сформовано модель каналу передачі сигналів числових кодів АЛСН.

Усі публікації задовольняють вимоги МОН України.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися й отримали схвалення:

1. На 22, 25, 26 Міжнародних конференціях «Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины» // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009, 2012, 2013. – м. Алушта.

2. На IV Международной научно-практической конференции Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте, м. Днепропетровск: ДНУЖТ им. акад. В. Лазаряна, лютий 2011 р.

3. На 74 Міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії, інженерно-технічних працівників залізниць, підприємств і організацій України та інших країн. – Харків: УкрДАЗТ, 2012.

4. На 27 Міжнародній конференції // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014, м. Харків, вересень 2014 р.

Дисертацію в повному обсязі розглянуто та схвалено на розширеному засіданні кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Української державної академії залізничного транспорту.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 19 наукових праць, у тому числі 10 наукових статей (з них 2 без співавторів) у фахових виданнях, затверджених МОН України, з яких 1 включена до міжнародних

наукометричних баз, 1 патент на винахід, 1 патент на корисну модель та 6 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і 3 додатків.

Повний обсяг роботи складає 186 сторінок, обсяг основного тексту складає 155 сторінок, серед них 43 рисунки за текстом, 1 рисунок на окремій сторінці; 2 таблиці за текстом, список використаних джерел складається із 146 найменувань і 7 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, мету та основні задачі досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача у виконанні дисертаційної роботи. Наведена інформація про структуру дисертації, публікації та апробацію робіт.

У першому розділі проведено аналіз вітчизняних і закордонних діючих систем інтервального регулювання руху поїздів, їх технічної побудови та існуючих наукових підходів щодо їхнього удосконалення

Вагомий внесок у процес дослідження роботи систем залізничної автомастики внесли такі вчені, як В.С. Аркатов, М.М. Бабаєв, А.Б. Бойнік, А.М. Брилеєв, В.І. Гаврилюк, В.С. Дмитрієв, І.В. Жуковицький, М.Ф. Котляренко, Ю.А. Кравцов, В.М. Лисенков, В.І. Мойсеєнко, С.В. Панченко, А.С. Переборів, А.П. Разгонов, Ю.В. Соболев, М.М. Чепцов, А.В. Шишляков та ін.

Визначається, що виконання умов безпеки руху є одним з найважливіших завдань і тому локомотиви більшості європейських залізниць обов'язково обладнуються пристроями АЛСН. Аналіз попередніх досліджень, присвячених розробці наукових підходів щодо вирішення цього завдання показав, що на якість роботи систем АЛСН негативно впливає значна кількість електромагнітних завад різного походження, що призводить до спотворення прийнятої локомотивними пристроями сигнальної інформації. Існуючі принципи формування, передачі колійними пристроями сигнальної інформації і прийому її пристроями АЛСН вибиралися і розроблялися з урахуванням максимальної швидкості руху поїздів до 140 км/год. При збільшенні швидкості руху поїздів до 200 км/год і більше значно збільшується довжина гальмового шляху поїзду і, отже, величина небезпечної зони зближення з перешкодою, що вимагає завчасного попередження про це локомотивну бригаду. Зроблено висновок, що на даний момент типові системи АЛСН мають обмежену надійність та низьку інформативну здатність, тому задача удосконалення методів та засобів підвищення ефективності їх функціонування є актуальною. Вирішення цієї задачі і складає основний напрям поданої дисертаційної роботи.

У другому розділі розроблено математичні моделі каналу передачі сигналу та струму шунта на базі декомпозиції стрілочної ділянки колії на підділянки, однорідні в сенсі електромагнітних процесів, які відбуваються в

кожній з них (рисунок 1). При цьому переріз Ш-Ш' рейкової лінії, який водночас є межою однієї з підділянок, є рухомих з огляду на рух власне шунта.

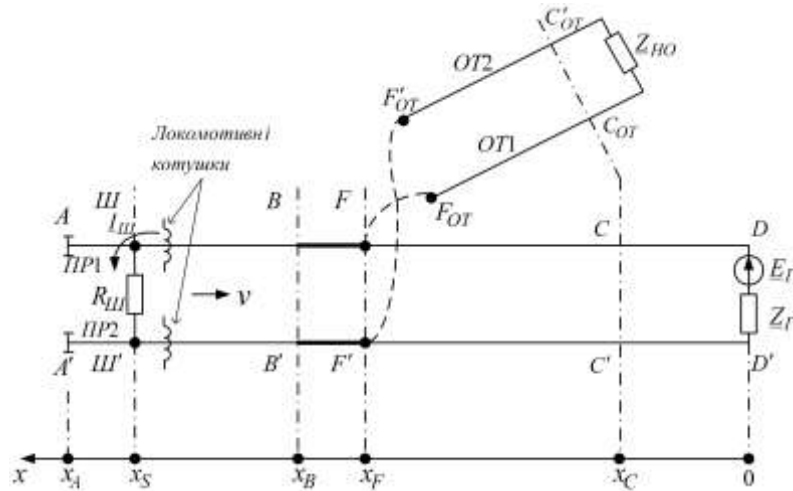


Рисунок 1 – Схема заміщення стрілкової ділянки

Відмітимо також, що на рисунку 1 рейки прямої колії позначено як ПП1, ПП2, а рейки відгалуження – як OT1 та OT2; як E_G та Z_G відповідно позначені ЕРС генератора та його внутрішній опір.

Аналіз геометрії та габаритних параметрів стрілочної ділянки призвів до висновку, що просторовий розподіл діючих значень напруг та струмів на цій ділянці задовольняє таким лінійним співвідношенням:

$$\underline{U}(l) = \underline{U}_2 + \underline{I}_2 \underline{Z}_0 l, \quad (1)$$

$$\underline{I}(l) = \underline{U}_2 G_0 l + \underline{I}_2. \quad (2)$$

Тут l – горизонтальна координата досліджуваного перерізу лінії, \underline{U}_2 та \underline{I}_2 – відповідно напруга та струм у кінці лінії, \underline{Z}_0 та G_0 – нормативні величини погонного опору та погонної провідності лінії.

Спираючись на співвідношення (1) та (2), а також на той факт, що відрізок стрілочної ділянки на проміжку між перерізом D-D' генератора та перерізом Ш-Ш' поточного розташування шунта утворений каскадним з'єднанням проміжних підділянок, стало можливим описати електричні властивості вказаного відрізка в термінах А-параметрів рейкової лінії: по-перше, матриця А-параметрів ділянки DS дорівнює добутку матриць А-параметрів підділянок, розташованих в послідовності від генератора до шунта

$$[A]_{DS} = [A]_{DF} \cdot [A]_{OT} \cdot [A]_{FB} \cdot [A]_{BS}, \quad (3)$$

а по-друге, кожна з перелічених матриць має лінійну залежність від просторових координат своїх межових перерізів, що в подальшому забезпечило прозору інженерну інтерпретацію отриманих результатів.

В підсумку, визначено аналітичний вираз для комплексної передатної функції за струмом $\underline{K}_I(\omega, t)$ довільного ланцюжка каскадів досліджуваної ділянки за умови руху шунта вздовж останньої. Як наслідок, за відомої спектральної щільності $\underline{E}_\Gamma(\omega)$ електрорушійної сили (ЕРС) генератора визначено аналітичний вираз для струму рухомого шунта:

$$i_{III}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \underline{K}_I(\omega, t) \cdot \sqrt{2} \cdot \underline{E}_\Gamma(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega. \quad (4)$$

При подальшій конкретизації розрахунків обрано реалістичну часову залежність ЕРС генератора у вигляді прямокутного радіоімпульсу:

$$e_\Gamma(t) = \begin{cases} E_{Im} \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_E), & 0 \leq t < \tau_{II}; \\ 0, & t \geq \tau_{II}, \end{cases} \quad (5)$$

де τ_{II} – тривалість імпульсу.

Спираючись на викладене вище, для найбільш проблемної з точки зору виникнення спотворень підділянки BF (на ній розташовані стрілка та хрестовини) отримано такий вираз для струму шунта:

$$i_{III BF}(t) = \frac{E_{Im}}{\sqrt{c^2 + (\omega_0 b)^2}} \Lambda_1(t) \cdot 1(t) - \frac{E_{Im}}{\sqrt{c^2 + (\omega_0 b)^2}} \Lambda_2(t) \cdot 1(t - \tau_{II}). \quad (6)$$

Тут $(\omega_0 b)$ та c – відповідно уявна та дійсна частини приведенного опору ділянки DS , причому коефіцієнти b та c визначені через первинні параметри рейкової лінії, а також параметри генератора та шунта виразами

$$b = L_\Gamma R_{III} G_0 (x_F + x_S) + L_\Gamma + L_0 x_S (G_0 R_{III} x_F + 1),$$

$$c = R_\Gamma R_{III} G_0 (x_F + x_S) + R_0 x_S (G_0 R_{III} x_F + 1) + R_{III} + R_\Gamma.$$

Як $\Lambda_1(t)$ та $\Lambda_2(t)$ позначені деякі допоміжні функції:

$$\Lambda_1(t) = \sin\left(\omega_0 t + \varphi_E - \arctg \frac{\omega_0 b}{c}\right) - e^{-\frac{c}{b}t} \cdot \sin\left(\varphi_E - \arctg \frac{\omega_0 b}{c}\right),$$

$$\Lambda_2(t) = \sin\left(\omega_0 t + \varphi_E - \arctg \frac{\omega_0 b}{c}\right) - e^{-\frac{c}{b}(t-\tau_{II})} \cdot \sin\left(\omega_0 \tau_{II} + \varphi_E - \arctg \frac{\omega_0 b}{c}\right).$$

Параметри c та b є функціями часу, оскільки в співвідношеннях, що їх визначають, від часу залежить координата x_S .

Інформаційний сигнал, переносником якого і є, власне, струм шунта, надходить до локомотивного приймача крізь індуктивний зв'язок між рейками та локомотивними приймальними котушками. Слід очікувати суттєвих спотворень цього сигналу на тих фрагментах колії, де мають місце великі феромагнітні неоднорідності – стрілки, хрестовини, контррейки і т. ін. Саме таким фрагментом є вже згадана підділянка BF . В роботі досліджено вплив локальної ширини рейки на величину взаємної індуктивності між рейкою та локомотивною приймальною котушкою. Для цього спочатку побудовано математичну модель магнітного потоку, який створює тонкий довгий провідник крізь площу, охоплену тонким окремим прямокутним витком (рисунок 2) з довжиною l та шириною D .

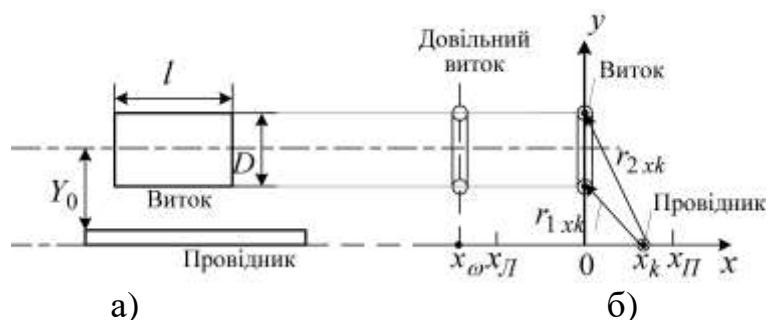


Рисунок 2 – Структурна схема системи «локомотивна котушка – рейка»

Знайдено, що струм з миттєвим значенням i , який протікає вказаним провідником, створює крізь виток, розташований при ординаті 0, магнітний потік з миттєвим значенням

$$\begin{aligned} \Phi_{xk} &= \frac{\mu\mu_0 il}{2\pi} \ln \frac{r_{2,xk}}{r_{1,xk}} = \frac{\mu\mu_0 il}{2\pi} \ln \left[\frac{\sqrt{x_k^2 + (y_0 + 0,5D)^2}}{\sqrt{x_k^2 + (y_0 - 0,5D)^2}} \right] = \\ &= \frac{\mu\mu_0 il}{4\pi} \ln \frac{x_k^2 + (y_0 + 0,5D)^2}{x_k^2 + (y_0 - 0,5D)^2}, \end{aligned} \quad (7)$$

де μ – відносна магнітна проникність середовища, в якому розташовані виток і провідник.

Із врахуванням того, що на практиці магнітний потік створений суцільною головкою рейки, яку можна наближено розглядати як пласку стрічку з крайовими координатами x_{II} та x_{LI} , і за умови введення позначень $p = y_0 + 0,5D$, $q = y_0 - 0,5D$ потокозчеплення котушки, утвореної сукупністю щільно намотаних витків, визначене виразом

$$\Psi = \frac{\mu\mu_0 l}{4\pi A} \cdot \frac{iW}{x_{II} - x_{LI}} \cdot \left[\int_{A_{LI}}^{A_{II}} (x_{II} - x) \ln \frac{(x_{II} - x)^2 + p^2}{(x_{II} - x)^2 + q^2} dx - \right. \\ \left. - \int_{A_{LI}}^{A_{II}} (x_{LI} - x) \ln \frac{(x_{LI} - x)^2 + p^2}{(x_{LI} - x)^2 + q^2} dx + 2p \cdot \int_{A_{LI}}^{A_{II}} \arctg \frac{p(x_{II} - x)}{p^2 + (x_{II} - x)(x_{LI} - x)} dx - \right. \\ \left. - 2q \cdot \int_{A_{LI}}^{A_{II}} \arctg \frac{q(x_{II} - x)}{q^2 + (x_{II} - x)(x_{LI} - x)} dx \right]. \quad (8)$$

За умови позначення першого, другого, третього та четвертого доданків відповідно як Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 та Θ_4 отримано підсумковий вираз для взаємної індуктивності:

$$M = \frac{\Psi}{i} = \frac{\mu\mu_0 l W}{4\pi A (x_{II} - x_{LI})} \cdot \sum_{k=1}^4 \Theta_k. \quad (9)$$

На рисунках 3 та 4 наведені графіки, які ілюструють залежність величини M від ширини Δx_r стрічки при $W = 200$, $l = 370$ мм, $D = 240$ мм, $A_{LI} = -420$ мм, $A_{II} = 320$ мм, $x_{LI} = -37$ мм, для трьох значень величини y_0 висоти підвісу локомотивної котушки (соленоїда) – 100 мм, 180 мм та 240 мм.

З них випливає, що існує деяка оптимальна величина y_0 висоти підвісу котушки, яка при інших незмінних параметрах забезпечує максимум взаємної індуктивності рейок та локомотивних котушок.

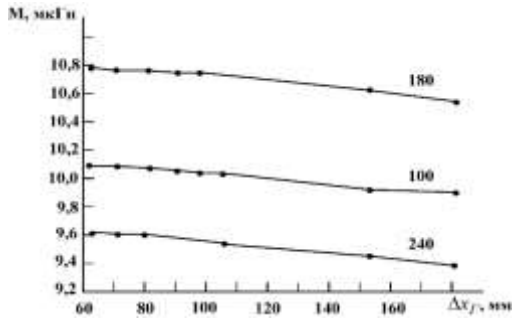


Рисунок 3 – Залежність взаємної індуктивності прямокутного соленоїда та плоскої стрічки від її ширини

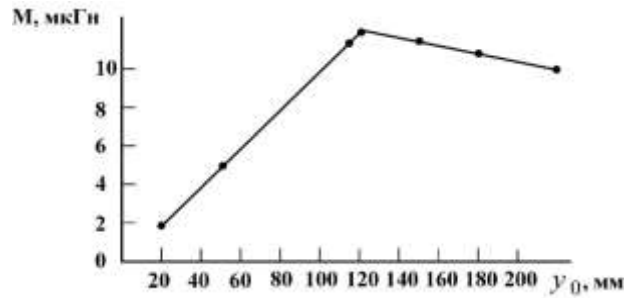


Рисунок 4 – Залежність взаємної індуктивності прямокутного соленоїда та плоскої стрічки від висоти підвісу катушок

У третьому розділі проведено математичне моделювання каналу передачі сигналів числового коду АЛСН. Встановлено, що перехідні процеси, викликані відбиттям в лінії, закінчуються за час, який набагато менший від тривалості поодинокого сигнального імпульсу АЛСН. Отже, має місце можливість застосування для аналізу впливу поодинокого імпульсу на все коло пристроїв АЛСН всіх відомих методів розрахунку кіл синусоїдального струму. Зокрема, комплекс діючого значення синусоїдального струму в заздалегідь визначеному перерізі РЛ, розташованому на відстані x від генератора, розраховується за відомим виразом

$$\underline{I}(x) = \underline{I}_1 \cdot \operatorname{ch} \underline{\gamma} x - \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_B} \cdot \operatorname{sh} \underline{\gamma} x, \quad (10)$$

де \underline{I}_1 – вхідний струм РЛ у цілому;

\underline{U}_1 – вхідна напруга РЛ у цілому.

Якщо величина x являє собою відстань $x_{ГК}$ між генератором та перерізом поточного розташування приймальних локомотивних катушок, то вираз (10) фактично забезпечує розрахунок будь-якої необхідної гармоніки струму шунта. Оскільки амплітуди та початкові фази гармонік є основними чинниками, які визначають форму сигналу, то слід дати відповідь на таке питання: зважаючи на рух шунта (тобто на зміну величини $x_{ГК}$ у часі), якою є максимально припустима величина часового дискрету (та відповідного до нього просторового дискрету Δx), за якої при моделюванні слід переобчислювати амплітуди (або діючі значення) та початкові фази гармонік, щоб забезпечити прийнятну точність відтворення струму шунта? Для отримання відповіді на це питання визначено величини похибок модельного розрахунку струму шунта (тобто, фактично, струму під приймальними катушками локомотивного приймача числових кодів АЛСН) (рисунок 5). А саме: були знайдені величини відносної похибки $\delta_I(x_{ГК})$ модельного розрахунку діючого значення струму

$I(x_{ГК})$ та величини $\Delta\varphi_I(x_{ГК})$ абсолютної похибки модельного розрахунку його початкової фази:

$$\delta_I(x_{ГК}) = \left| \frac{I(x_{ГК} - \Delta x) - I(x_{ГК})}{I(x_{ГК})} \right|, \quad (11)$$

$$\Delta\varphi_I(x_{ГК}) = \varphi_I(x_{ГК} - \Delta x) - \varphi_I(x_{ГК}). \quad (12)$$

Накладені граничні умови моделювання були такими: величина $x_{ГК}$ знаходиться в межах від Δx до 1 км., діюче значення ЕРС складає 100 В при початковій фазі 0^0 , параметри РЛ дорівнюють нормативним на частоті 25 Гц, величина опору генератора $\underline{Z}_{\bar{A}} = 0,25 \cdot e^{j20^0}$ Ом.

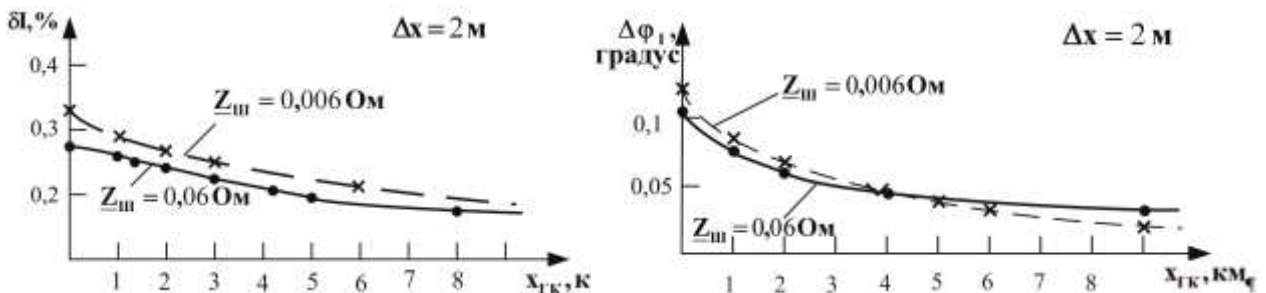


Рисунок 5 – Відносна похибка розрахунку діючого значення струму сигналів АЛСН та величина абсолютної похибки розрахунку його початкової фази при $\Delta x = 2$ м

Встановлено, що навіть при $\Delta x = 50$ м похибка розрахунку початкової фази не перевищує трьох градусів. Якщо ж Δx має величину 2 м, яка є близькою до міжосьових відстаней рухомого складу, то δI не перевищує 0,4 %, а $\Delta\varphi_I$ не перевищує $0,12^0$ в межах граничних умов.

Проведено аналіз кореляційних залежностей та розроблена функціональна схема кореляційного приймача числових кодів АЛСН з використанням швидкого перетворення Фур'є (рисунок 6). При цьому ЕДС $u_{АЛС}(t)$, що наводиться в прийомних котушках локомотивних пристроїв, представлена як безупинна функція часу, для якої на проміжку часу $[t_0, t_T]$ виконується умова

$$\int_{t_0}^{t_T} |u_{АЛС}(t)|^2 dt < \infty \quad (13)$$

В цьому випадку $u_{АЛС}(t)$ може бути представлена у вигляді суми ряду

$$u_{АЛС}(t) = c_0 k_0(t) + c_1 k_1(t) + \dots + c_n k_n(t) + \dots, \quad (14)$$

де $c_0 k_0(t), c_1 k_1(t), \dots, c_n k_n(t)$ – спектральні компоненти ряду

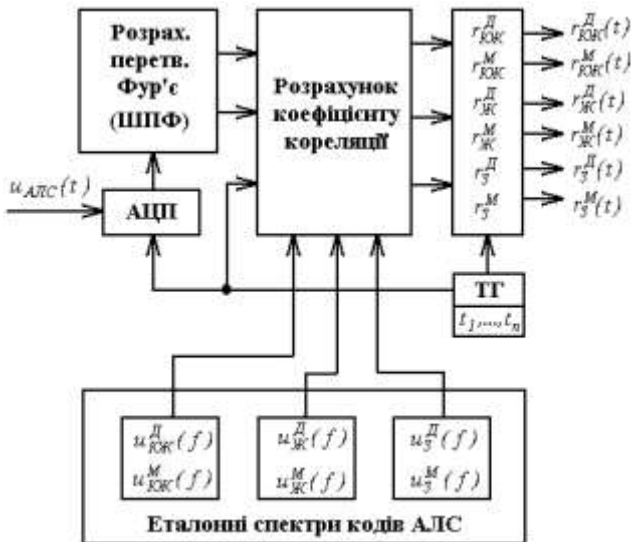


Рисунок 6 – Функціональна схема кореляційного прийому і дешифрування кодів АЛСН

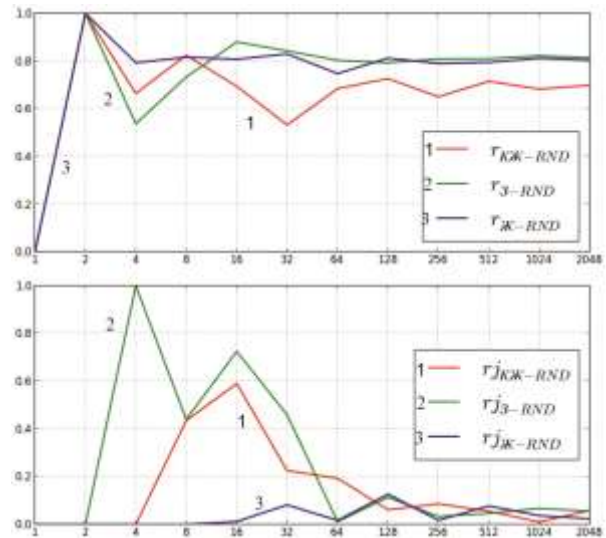


Рисунок 7 – Залежність кореляції кодів АЛСН з випадковою послідовністю від об'єму вибірки швидкого перетворення Фур'є

Результат обчислень – розраховані коефіцієнти кореляції для дійсної та уявної частин комплексного перетворення Фур'є: $r_{KЖ}$, $r_{J_{KЖ}}$, $r_{Ж}$, $r_{J_{Ж}}$, r_3 , r_{J_3} у дискретні моменти часу t_1, t_2, \dots, t_n , які обумовлені тактовою частотою обчислювального пристрою (ТГ). Залежність від об'єму вибірки N коефіцієнта кореляції кодів з випадковим сигналом (RND): $r_{KЖ-RND}$, $r_{J_{KЖ-RND}}$, $r_{Ж-RND}$, $r_{J_{Ж-RND}}$, r_{3-RND} , $r_{J_{3-RND}}$ для одного циклу кодової послідовності представлена на рисунку 7. Аналіз отриманих результатів показує значну кореляцію дійсних значень FFT-перетворення кодів з вибіркою, яка містить випадкові значення.

У заключній частині третього розділу розроблена нейромережева модель розпізнавання тривалості імпульсів та інтервалів кодів АЛСН (рисунок 8).

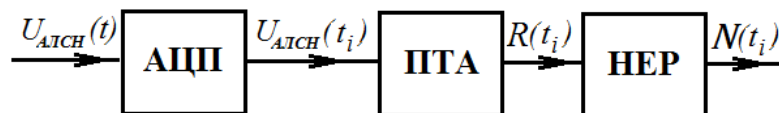


Рисунок 8 – Функціональна структура моделі оцінювання часових параметрів

Пояснення: (ПТА – перетворювач тривалість-амплітуда, (НЕР – нейромережевий елемент розпізнавання).

Співвідношення, що відтворюють лінійну залежність між тривалістю імпульсу або інтервалу

$$R(t_i) = \begin{cases} R(t_{i-1}) + kT, \text{ якщо } U_{\text{АЛСН}}(t_i) = 1, \\ R(t_{i-1}) - kT, \text{ якщо } U_{\text{АЛСН}}(t_i) = 0 \end{cases}, \quad (15)$$

де k – коефіцієнт нахилу лінійної функції; $R(t_{i-1})$ – амплітуда сигналу ПТА в попередній момент часу

$$R(t_i) = 1 + R(t_{i-1}) - e^{\frac{T[R(t_i)-R(t_{i-1})]}{\sigma}}, \quad (16)$$

де σ – коефіцієнт швидкості зміни амплітуди (постійна часу).

Для реалізації НЕР обрано нейронну мережу з топологією 1-3-1 та логістичною функцією збудження нейронів. Навчальна послідовність складатиметься зі ста пар вхід-вихід, де вхідний вектор складатиметься зі значень $\bar{in} = [0,0; 0,01; 0,02; \dots; 0,98; 0,99]$, а вихідний – $\bar{out} = [0; 0; \dots; 0; 1]$, тобто тільки значенню 0,99 повинно відповідати значення виходу 1,0.

У четвертому розділі розроблена нейромережева модель елемента «2ТАК-НІ», яка здатна виконувати фіксації часових параметрів імпульсів в кодах АЛСН. Формалізація структури мережі

$$\bar{y}(x_k) = \bar{\&}(x_k) \left\{ \begin{array}{l} \left(\begin{array}{l} |w_1| \\ |w_2| \\ | \dots | \\ |w_n| \end{array} \right), s_{z,1} \left(\begin{array}{l} |w_1| \\ |w_2| \\ | \dots | \\ |w_n| \end{array} \right), \dots \\ \left(\begin{array}{l} |w_1| \\ |w_2| \\ | \dots | \\ |w_n| \end{array} \right), s_{z,2} \left(\begin{array}{l} |w_1| \\ |w_2| \\ | \dots | \\ |w_n| \end{array} \right), \dots \\ \dots, \dots, \dots \\ \left(\begin{array}{l} |w_1| \\ |w_2| \\ | \dots | \\ |w_n| \end{array} \right), s_{z,k} \left(\begin{array}{l} |w_1| \\ |w_2| \\ | \dots | \\ |w_n| \end{array} \right), \dots \end{array} \right\}, \quad (17)$$

де $\bar{\&}$ – позначення нейронної мережі; $\bar{y}(x_k)$ – вектор вихідних значень при k – значеннях вхідного вектору \bar{x}_k ; $s_{z,k}$ – значення нахилу логістичної функції відповідного нейрону в шарі z ; w_1, w_2, \dots, w_n – вагові коефіцієнти відповідних нейронів.

Структура моделі елемента, який виконує часову селекцію сигналу, складатиметься з двох нейромережних моделей розпізнавання часових параметрів імпульсів – $N_1(t_i)$, $N_2(t_i)$ та моделі нейромережного ТТ-триггеру (рисунок 9). $N_1(t_i)$, яка призначена для організації затримки на перемикання ТТ-триггера в одиничний стан з метою запобігання впливу короткотривалих завад. Завдяки моделі $N_2(t_i)$ виконується розпізнавання часових параметрів кодів АЛСН. Функціонування моделі $F_{RT}[U_{\text{АЛСН}}(t_i)]$ відбувається відповідно до виразу

$$[Q(t_i), \bar{Q}(t_i)] = F_{RT}[U_{\text{АЛСН}}(t_i)] = F_{TT}[U_{\text{АЛСН}}(t_i), N_1(t_i), N_2(t_i)], \quad (18)$$

при початкових умовах $R_1(t_0) = 0$ та $R_2(t_0) = 1$, тобто в моделі $N_1(t_i)$ фіксується нарощування сигналу до рівня $\sim 0,98$, а в моделі $N_2(t_i)$ – зменшення до рівня $\sim 0,02$.

Розроблений неймережевий тригерний елемент (рисунок 9) виконує часову селекцію сигналу. Введемо його схематичне позначення (рисунок 10) та скорочення – НТЕ ЧСС.

Прийом кодів АЛСН здійснюють п'ять НТЕ ЧСС. Введемо їх позначення: $F_1[IN, R]$, $F_2[IN, R]$, $F_3[IN, R]$ – тригерні елементи, призначені для фіксації імпульсів кодів, та $F_{1A}[IN, R]$, $F_{2A}[IN, R]$ – інтервалів.

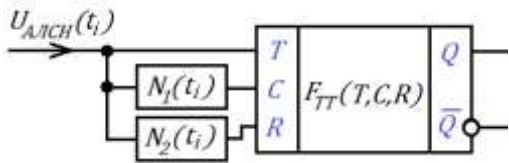


Рисунок 9 – Структура моделі

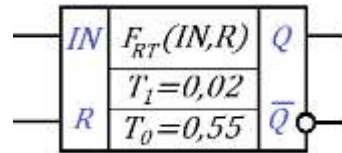


Рисунок 10 – Схематичне позначення НТЕ ЧСС

Крім цього застосуємо три елементи для фіксацій прийнятого коду: $F_{\text{КЖ}}^{\text{код}}[IN, R]$, $F_{\text{Ж}}^{\text{код}}[IN, R]$, $F_3^{\text{код}}[IN, R]$. З урахуванням вищезазначеного, структура моделі пристрою дешифрування кодів АЛСН набуває вигляду, наведеного на рисунку 11.

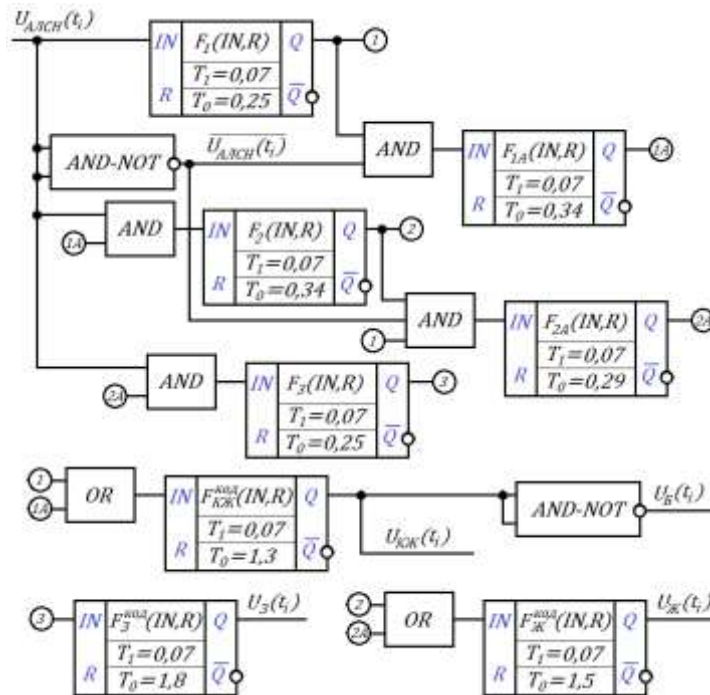


Рисунок 11 – Структура моделі пристрою дешифрування кодів АЛСН

Моделлю, побудованою за структурою, що представлена на рисунку 11, виконується стійке дешифрування кодів АЛСН згідно виразу

$$\begin{bmatrix} U_{\text{КЖ}}(t_i) \\ U_{\text{Ж}}(t_i) \\ U_3(t_i) \\ U_{\text{Б}}(t_i) \end{bmatrix} = \begin{cases} F_1[U_{\text{АЛСН}}(t_i), 0] \\ F_{1A}[\&(U_{\text{АЛСН}}(t_i), Q_1), 0] \\ F_2[\&(U_{\text{АЛСН}}(t_i), Q_{1A}), 0] \\ F_{2A}[\&(U_{\text{АЛСН}}(t_i), Q_1, Q_2), 0] \\ F_3[\&(U_{\text{АЛСН}}(t_i), Q_{2A}), 0] \\ U_{\text{КЖ}}(t_i) = F_{\text{КЖ}}^{\text{код}}[V(Q_1, Q_{1A}), 0] \\ U_{\text{Ж}}(t_i) = F_{\text{Ж}}^{\text{код}}[V(Q_2, Q_{2A}), 0] \\ U_3(t_i) = F_3^{\text{код}}[Q_3, 0] \\ U_{\text{Б}}(t_i) = \overline{U_{\text{КЖ}}(t_i)} \end{cases}, \quad (19)$$

Шляхом встановлення часових параметрів роботи кожного елемента виконується належна селекція вхідного сигналу. За рахунок застосування елемента «2ТАК» НТЕ ЧСС $F_2[IN, R]$ може перейти в одиничний стан тільки у випадку знаходження в цьому стані $F_{1A}[IN, R]$ та при наявності імпульсу на вході (рисунок 11). Аналогічно увімкнені тригерні елементи $F_{2A}[IN, R]$ та $F_3[IN, R]$, які починають функціонувати тільки у випадку наявності динамічної роботи елементів, до яких вони підключені. У заключній частині розділу наведено результати експериментальних досліджень впливу електромагнітних завад на роботу локомотивних пристроїв АЛСН.

ВИСНОВКИ

У дисертації отримано нові рішення питань підвищення ефективності функціонування систем АЛСН шляхом подальшого розвитку процесу передачі, обробки та дешифрування їх інформаційних сигналів з урахуванням особливості індуктивного зв'язку рейок і локомотивних котушок та наявністю в каналі передачі інформації електромагнітних завад.

Основні наукові результати і висновки дисертації такі:

1. Аналіз вітчизняних і закордонних діючих систем інтервального регулювання руху поїздів довів, що на якість їх роботи негативно впливає значна кількість електромагнітних завад різного походження, що призводить до спотворення прийнятої локомотивними пристроями сигнальної інформації;

2. Розроблено методи та побудовані математичні моделі, які були покладені в основу дослідження особливостей індуктивного зв'язку рейок та локомотивних котушок АЛСН, що дозволило забезпечити більш високий рівень завадозахищеності процесу прийому та обробки кодівих сигналів АЛСН. При цьому встановлено, що на тих підділянках стрілочного перевалу, де ширина рейок зростає, величина взаємної індуктивності локомотивної котушки з відповідною їй рейкою зменшується при розширенні останньої;

3. Розроблено математичні моделі каналу передачі сигналів та вхідного сигнального струму локомотивного приймача, що дозволило урахувати вплив

електромагнітних завад в процесі прийому числових кодів АЛСН. Встановлено, що при $\Delta x = 50$ м відносна похибка розрахунку діючого значення струму складає менш ніж 10 %. Похибка розрахунку початкової фази δI не перевищує трьох градусів. Якщо ж Δx має величину 2 м, то δI не перевищує 0,4 %, а $\Delta \varphi_I$ не перевищує $0,12^\circ$.

4. На основі теорії швидкого перетворення Фур'є проведено синтез дешифратора числових кодів АЛСН, що дозволило оптимізувати їх процес прийому та обробки. На відміну від принципу дії існуючих пристроїв дешифрування числових кодів, швидке перетворення Фур'є функціонує не в кожний дискретний момент часу t , а в моменти часу $N \cdot t$, що значно спрощує вимоги щодо їх швидкодії;

– 5. Проведено кореляційний аналіз залежностей приймача числових кодів АЛСН та побудовано нейромережеві моделі їх розпізнавання, що дозволило підвищити завадостійкість їх прийому та ідентифікації;

6. Проведені експериментальні дослідження впливу електромагнітних завад на роботу локомотивних пристроїв АЛСН, що дозволило перевірити ефективність функціонування розроблених методів та моделей дешифрування інформаційних сигналів;

7. Проведено розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження результатів дисертаційної роботи. Очікується, що загальна сума економічного ефекту від їх застосування на ДП «Південна залізниця» протягом шести років складе 1238,6 тис. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Бабаєв, М.М. Аналіз існуючих вітчизняних і закордонних систем АЛС на залізничному транспорті [Текст] / М.М. Бабаєв, В.О. Сотник // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 116. – С. 120-127.

2. Математична модель каналу передачі сигналів числового коду АЛСН [Текст] / Ю.В. Соколов, М.Г. Давиденко, О.М. Ананьєва, В.О. Сотник // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 78-88.

3. Ананьєва, О.М. Вплив неоднорідностей рейкової лінії на приймання сигналів АЛСН [Текст] / О.М. Ананьєва, В.О. Сотник // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 124. – С. 77-83.

4. Часові характеристики струму шунта та електрорушійної сили локомотивних котушок системи АЛСН [Текст] / О.М. Ананьєва, М.Г. Давиденко, В.О. Сотник, М.М. Бабаєв // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 127. – С. 56-78.

5. Сотник, В.О. Особливості індуктивного зв'язку рейок та локомотивних котушок системи АЛСН на ділянці стрілкового перевалу [Текст] / В.О. Сотник // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 129. – С. 129-144.

6. Математична модель каналу передачі сигналів числових кодів АЛСН [Текст] / М.М. Бабаєв, О.М. Ананьєва, М.Г. Давиденко, В.О. Сотник // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 134. – С. 187-199.

7. Ананьєва, О.М. Математична модель вхідного сигнального струму локомотивного приймача числових кодів АЛСН [Текст] / О.М. Ананьєва, В.О. Сотник, Ю.В. Соколов // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 26. – С. 67-70.

8. Сотник, В.О. Аналіз кореляційних залежностей для синтезу приймача кодів АЛСН [Текст] / В.О. Сотник, М.М. Бабаєв, М.М. Чепцов // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2013. – Вип. 34. – С. 49-56.

9. Сотник, В.О. Нейромережева модель розпізнавання тривалості імпульсів та інтервалів кодів АЛСН [Текст] / В.О. Сотник, М.М. Бабаєв, М.М. Чепцов // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2013. – Вип. 36. – С. 67-78.

10. Рельсове коло [Текст]: пат. України на винахід UA 101093. 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. – № а 2011 10949; заявл. 13.09.2011; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4. – 3 с.

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

11. Сотник, В.О. Нейромережеве моделювання функцій дешифрування кодів АЛСН [Текст] / В.О. Сотник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014. – № 2. – С. 66-78.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

12. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах [Текст]: учеб. пособие / А.Б. Бойник, С.В. Кошевой, С.В. Панченко, В.А. Сотник. – Харьков: УкрГАЖТ, 2005. – 256 с.

13. Рейковое коло [Текст]: пат. України на корисну модель № 68742 U. 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.

Праці апробаційного характеру:

14. Кошевий, С.В. Дослідження індуктивного каналу автоматичної локомотивної сигналізації при проходженні приймальними котушками зони стрілочних переводів [Текст] / С.В. Кошевий, В.О. Сотник, М.С. Кошевий // Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины: тезисы доп. 22-ї Міжнарод. наук.-практ. конф. (м. Алушта, 23-25 вересня 2009 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 4 (Додаток). – С. 58.

15. Ананьєва, О.М. Математичні моделі каналу передачі сигналів числових кодів автоматичної локомотивної сигналізації [Текст] / О.М. Ананьєва, М.Г. Давиденко, В.О. Сотник // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте: тез. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Днепропетровск: ДНУЖТ им. акад. В. Лазаряна, лютий 2011 р. – С. 12.

16. Сотник, В.О. Математичне моделювання каналу передачі кодових сигналів АЛСН на ділянці стрілкового переводу [Текст] / В.О. Сотник // Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины: тезисы доп. 25-ї Міжнарод.

наук.-практ. конф. (м. Алушта, вересень 2012 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – № 4 (Додаток). – С. 113.

17. Сотник, В.О. Взаємна індуктивність рейки та приймальної локомотивної котушки [Текст] / В.О. Сотник, М.Г. Давиденко // Зб. наук. праць: тези доп. 74-ї Міжнар. наук.-техн. конф. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 129. – С. 202-203.

18. Сотник, В.О. Особенности индуктивной связи рельсов и локомотивных катушек системы АЛСН на участке стрелочного перевода [Текст] / В.О. Сотник // Внедрение перспективных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и средств телекоммуникаций на базе цифровизации: тези доп. 26-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Алушта, вересень 2013 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013. – № 4 (Додаток). – С. 99.

19. Сотник, В.О. Синтез дешифратора числових кодів АЛСН [Текст] / В.О. Сотник // Информационно -управляющие системы на железнодорожном транспорте: тези доп. 27-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, вересень 2014 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014. – № 4 (Додаток). – С. 57.

АНОТАЦІЯ

Сотник В.О. Удосконалення методів та засобів дешифрування інформаційних сигналів систем автоматичної локомотивної сигналізації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Українська державна академія залізничного транспорту МОН України, Харків, 2015.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладного завдання удосконалення методів та засобів підвищення ефективності функціонування систем АЛСН.

У роботі проведено дослідження сучасних методів та засобів підвищення ефективності функціонування існуючих систем АЛСН. Побудовано математичні моделі, які були покладені в основу аналізу особливостей індуктивного зв'язку рейок та локомотивних котушок. Встановлено, що на тих підділянках стрілкового перевода, де ширина рейок зростає, величина взаємної індуктивності локомотивної котушки з відповідною їй рейкою зменшується при розширенні останньої. Розроблено математичні моделі каналу передачі сигналів АЛСН та вхідного сигнального струму локомотивного приймача. На основі теорії швидкого перетворення Фур'є проведено синтез дешифратора числових кодів АЛСН. Проведено кореляційний аналіз залежностей приймача числових кодів та побудовано нейромережеві моделі розпізнавання інформаційних сигналів АЛСН. Проведено експериментальні дослідження впливу електромагнітних завад на роботу локомотивних пристроїв АЛСН.

Ключові слова: система АЛСН, індуктивний зв'язок, сигнальний струм, шунт, локомотивна котушка, математична модель, нейронна мережа, синтез, моделювання, електромагнітні завади.

АННОТАЦИЯ

Сотник В.А. Усовершенствование методов и средств дешифрации информационных сигналов систем автоматической локомотивной сигнализации. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2015.

Диссертация посвящена решению научно-прикладного задания усовершенствования методов и средств повышения эффективности функционирования систем АЛСН.

В работе выполнен анализ особенностей индуктивной связи рельсов и локомотивных катушек подвижного состава, а также влияния их неоднородностей на прием сигналов АЛСН. Установлено, что на тех участках стрелочного перевода, где ширина рельсов возрастает, величина взаимной индуктивности локомотивной катушки и соответствующего ей рельса уменьшается при расширении последнего. Предложены математические модели тока шунта и электродвижущей силы локомотивных катушек системы АЛСН как зависимостей от продольной координаты шунта. Исследованы временные характеристик тока в рельсовой линии как в случае неподвижности шунта, так и при его движении. Показано, что поскольку ЕДС локомотивных катушек представляет собой производную по времени от тока шунта, то эти условия в дальнейшем распространяются и на анализ ее временных характеристик. Теоретически обосновано наличие оптимальной высоты подвеса локомотивных катушек. Определена аналитическая временная зависимость тока, протекающего через шунт при его движении над стрелкой. Разработаны математические модели канала передачи сигналов АЛСН и входного сигнального тока локомотивного приемника. В результате построения математической модели входного сигнала локомотивного приемника числовых кодов АЛСН установлено, что величина участка рельсовой линии с интервалом Δx порядка 2 м, на котором А-параметры четырехполюсника можно считать постоянными, обеспечивает высокую точность моделирования процесса формирования одиночной гармоника в точке приема. Теоретически обосновано, что разработанная математическая модель может быть одномасштабной во времени, а именно: ее параметры можно менять во времени с дискретом, который равняется интервалу между вступлением колесных пар на блок-участок, то есть с тем самым временным дискретом, с которым меняется во времени обобщенное сопротивление нагрузки рельсовой линии. Предложены оптимальные методы и модели формирования, передачи и дешифровки числовых кодов АЛСН. При этом теоретически обосновано, что наиболее удобным с точки зрения выполнения исследований, их информационной обеспеченности и физической интерпретации их результатов есть частотный метод расчетов. При этом числовое моделирование может быть выполнено средствами, которые развиты относительно устойчивого режима

синусоидальных колебаний. На основе теории быстрого преобразования Фурье проведен синтез дешифратора числовых кодов АЛСН. В отличие от принципа действия существующих устройств дешифровки числовых кодов, быстрое преобразование Фурье функционирует не в каждый дискретный момент времени t , а в моменты времени $N \cdot t$, что значительно упрощает требования относительно их быстродействия. Разработана нейросетевая модель распознавания временных параметров импульсов, предназначенная для построения оптимального устройства дешифрации кодов АЛСН. Проведен корреляционный анализ зависимостей приемника числовых кодов информационных сигналов АЛСН. На основе анализа корреляционных зависимостей приемника числовых кодов АЛСН предложен его оптимальный принцип действия. Проведены экспериментальные исследования влияния электромагнитных помех на работу локомотивных устройств АЛСН

Ключевые слова: система АЛСН, индуктивная связь, сигнальная ток, шунт, локомотивная катушка, математическая модель, нейронная сеть, синтез, моделирование, электромагнитные помехи.

SUMMARY

Sotnyk V.A. Improvement of methods and means for decoding of automatic cab signal system information signals. – Script.

Dissertation for scientific degree of PhD (Candidate of Technical Sciences) in 05.22.20 specialty — Maintenance and operations of transportation means. — Ukrainian State Academy of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2015.

Thesis is devoted to resolution of applied-science problem of ALSN system efficiency improvement.

In the work presented was analyzed particularities of inductive communication with rails and locomotive coils and influence of coils inhomogeneity to ALSN efficiency. Proposed mathematical model of a current on a shunt and generated voltage on coils as dependencies from shunt's lengthwise position. Proposed optimal methods and models of ALSN numeric codes generation, transmission and decoding. Designed ALSN numeric codes decoder, based on Fast Fourier transform. Developed neuronet model for time parameter recognition. Obtained experimental results on electromagnetic disturbance influence to locomotive ALSN systems.

Keywords: ALSN system, induction communication, signal current, shunt, locomotive coil, mathematical model, neural network, synthesis, modelling, electromagnetic disturbance, impulse parameter.

Сотник Василь Олександрович

621.391:681.518

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЕШИФРУВАННЯ
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОЇ
ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

к.т.н., доц. С.В. Кошевий

Підписано до друку 10 березня 2015 р.
Формат паперу 60x84 1/16. Папір для множних апаратів.
Умовн.-друк.арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1.
Замовлення № _____. Тираж 100 прим.
