

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри

_____ Гаврилюк В.І.
(підпис) (ПІБ)
2020 р. _____ «_____»

ДИПЛОМНА РОБОТА на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Спеціалізація «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Тема

Підвищення безпеки руху поїздів шляхом удосконалення пристроїв
локомотивної автоматики

Theme

Increasing the train safety by improving of the locomotive automation devices

Керівник дипломної роботи доцент _____ Гончаров К.В.

Студентка групи АТ1921 (967М) _____ Міщенко М.О.

Student AT1921 (967M) _____ Mariia Mishchenko

Дніпро
2020

**Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Спеціалізація «Автоматика та автоматизація на транспорті»

«Затверджую»

Завідувач кафедри АТ

Гаврилюк В.І.

« ____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеню «магістр»

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Затверджена наказом по університету № ____ від «__» _____ 2019 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Обсяг, %	Кількість креслень
1. Огляд існуючих локомотивних пристроїв забезпечення безпеки руху поїзда	25%	
2. Розробка локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда	50%	
3. Розробка багатозначної системи автоматичної локомотивної сигналізації	75%	
4. Розробка локомотивного навігаційного пристрою	90%	
5. Оформлення дипломної роботи, підготовка доповіді та демонстраційного матеріалу до захисту	100%	

Студент

Науковий керівник

РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки: 94 сторінки, 12 таблиць, 37 рисунків, 36 джерел літератури.

Ключові слова: залізнична автоматика, автоматична локомотивна сигналізація, технологія CDMA, супутникова навігація, нейронна мережа.

Об'єкт проектування: локомотивні пристрої забезпечення безпеки руху поїзда.

Мета магістерської роботи: підвищення безпеки руху поїздів шляхом удосконалення пристроїв локомотивної автоматики.

У першому розділі приведений аналіз існуючих систем автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), а також комплексних локомотивних пристроїв забезпечення безпеки руху поїздів. Проаналізовані переваги та недоліки кожного виду АЛС, а також перспективи розвитку систем АЛС в Україні.

У другому розділі представлена система локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда. Розібрано алгоритм роботи модуля центральної обробки локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда. Розроблено принципові схеми наступних вузлів системи: модуль центральної обробки та інформаційний модуль (блок індикації та блок вводу даних).

В третьому розділі розроблена багатозначна система CDMA-АЛС, що побудована на принципі технології CDMA, зі своєю системою команд. Створено функціональні схеми генератора та приймача кодів CDMA-АЛС, а також побудовано імітаційну модель пристрою у пакеті Matlab, за допомогою якої перевірено стійкість системи до різних завад.

В четвертому розділі розроблена модель локомотивного навігаційного пристрою з використанням нейронної мережі. Попередньо було проаналізовано системи супутникової навігації, та існуючі методи визначення місцезнаходження поїзда. Побудовано структурну схему модуля локомотивної навігації, описано принцип дії та представлено принципову схему пристрою.

Галузь застосування: системи залізничної автоматики.

Висновок. Впровадження запропонованої багатозначної системи CDMA-АЛС збільшить швидкість передачі команд на локомотив, адже команди

передаються у вигляді широкосмугового шумоподібного сигналу, розширить кількість інформації, яку можна передати на локомотив, а також дозволить збільшити пропускну спроможність залізниць за рахунок більш точних даних, щодо швидкостей руху поїзда. Така система володіє гарною завадостійкістю та має ресурси задля її модернізації у перспективі. У парі з навігаційним пристроєм, побудованим з використанням нейронної мережі, електронної карти та супутникової навігації, система забезпечить контроль місцеположення поїзда та контроль швидкісних обмежень.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЛОКОМОТИВНИХ ПРИСТРОЇВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДА	8
1.1. Призначення та різновиди локомотивних пристроїв забезпечення безпеки руху поїзда.....	8
1.2. Системи автоматичної локомотивної сигналізації точкового типу	11
1.2.1. Класифікація систем АЛСТ	12
1.3 Системи автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу	14
1.3.1 Класифікація систем АЛСН.....	15
1.3.2 Система АЛСН.....	17
1.3.3 Система АЛС-ЕН	18
1.3.4 Система TVM 300/430	22
1.4. Комплексні локомотивні пристрої забезпечення безпеки руху поїздів	24
1.4.1 Комплексний локомотивний пристрій забезпечення безпеки руху поїзда КЛУБ-У	24
1.4.2 Система АЛС-МУ	27
1.4.3 Система Improtrain 250	29
1.5 Висновки по розділу 1	31
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЛОКОМОТИВНОГО ПРИСТРОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДА.....	32
2.1. Структура та принцип дії локомотивного пристрою забезпечення безпеки поїзда.....	32
2.2. Алгоритм роботи локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда	35
2.3. Розробка модуля центральної обробки.....	41
2.4. Розробка блоку вводу даних та індикації.....	43
2.5. Висновки по розділу 2	48
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА БАГАТОЗНАЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ.....	49
3.1. Вибір системи команд для багатозначної АЛС	49
3.2. Аналіз спектрального складу завад в рейковій лінії	54

3.3. Застосування широкосмугових шумоподібних сигналів для передачі команд багатозначної АЛС	56
3.4. Структура та принцип дії генератора та приймача сигналів CDMA-АЛС	61
3.5. Результати імітаційного моделювання багатозначної CDMA-АЛС	64
3.6. Висновки по розділу 3	68
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЛОКОМОТИВНОГО НАВІГАЦІЙНОГО ПРИБОРУ.....	69
4.1. Огляд традиційних методів визначення місцезнаходження поїзда.....	69
4.2. Визначення географічних координат поїзда за допомогою супутникової навігації	71
4.3. Традиційний метод перетворення географічних координат поїзда у лінійні	73
4.4. Удосконалений метод перетворення географічних координат у лінійні	76
4.5. Структура та принцип дії локомотивного навігаційного пристрою	81
4.6. Розробка принципової електричної схеми локомотивного навігаційного пристрою	82
4.7. Висновки по розділу 4	85
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	88
ДОДАТКИ.....	92

ВСТУП

Залізничний транспорт і розвиток залізниць – гарний приклад еволюції і технічного прогресу на території різних країн і континентів. Постійна необхідність збільшення ефективності і зниження собівартості перевезень привела до застосування нових технологій і розвитку широкої залізничної мережі. Одним з напрямів розвитку залізничного транспорту є високошвидкісний рух. Та разом зі швидкостями ростуть і вимоги до забезпечення безпеки руху поїздів.

Сьогодні загальна протяжність тільки високошвидкісних магістралей у світі перевищує 20 тис.км, з них в Європі експлуатується понад 7 тис.км. Але процес проектування і будівництва нових ліній високошвидкісного руху не припиняється. Так, разом із розвитком високошвидкісної залізничної мережі Європи, протяжність якої у 2020 р. складає приблизно 10 тис.км, стрімко зростають і вимоги до забезпечення безпеки руху поїздів.

Україна не може похизуватися наявністю високошвидкісних залізничних ліній, адже максимум, який в нас є, це швидкісні потяги Hyundai, які курсують по Україні і розвивають максимальну швидкість в 160 км/год. По міжнародним міркам цей рух є лише прискорений, але ми віримо у краще майбутнє та готуємось до збільшення швидкостей на залізничному транспорті в Україні.

Аналізуючи системи автоматичної локомотивної сигналізації, які експлуатуються на залізницях України в даний момент, можна дійти висновку, що вони не досконалі, а при збільшенні швидкостей руху поїздів вони не забезпечать необхідний рівень безпеки та ефективний вантажо- та пасажиропотік. Мала інформативність систем, низька завадостійкість сигналів, відсутність інформації про точне місцезнаходження поїзда на шляху, а також моральна застарілість системи АЛС, бо вона експлуатується з 50-х років минулого сторіччя, все це свідчить про необхідність удосконалення, модернізації, доповнення існуючої системи АЛС різними модулями безпеки.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЛОКОМОТИВНИХ ПРИСТРОЇВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДА

1.1. Призначення та різновиди локомотивних пристроїв забезпечення безпеки руху поїзда

Основним засобом регулювання руху поїздів на магістральних лініях є автоблокування. Однак при автоблокуванні у випадках поганої видимості світлофорів, неувважності або втраті пильності машиніста не виключається проїзд світлофорів з жовтим вогнем з неприпустимою швидкістю, а при несвоєчасному гальмуванні проїзд світлофора з червоним вогнем.

Для вирішення проблем, зазначених вище, та поліпшення умов ведення поїздів і підвищення безпеки руху пристрої автоблокування доповнюються пристроями автоматичної локомотивної сигналізації. Згідно ПТЕ на станціях, розташованих на ділянках, обладнаних АБ або АЛС, головні шляхи, шляхи прийому і відправлення пасажирських поїздів, а також приймально-відправні колії для безупинного пропускання поїздів повинні бути обладнані колійними пристроями АЛС. В свою чергу, пристрої АЛС доповнюють такими елементами як [14]:

- автостоп - пристрій на локомотиві, за допомогою якого приводяться в дію автогальма і здійснюється екстрене гальмування поїзда при втраті пильності машиністом. Також автостопа повинні автоматично зупиняти поїзд перед закритим світлофором;

- пристрої перевірки пильності машиніста - рукоятка пильності (РБ), за допомогою якої машиніст вимикає свисток, що несе інформацію про можливість спрацювання автостопа. Перевірка пильності машиніста проводиться при наближенні поїзда до закритого світлофора, починаючи з моменту зміни на локомотивному світлофорі зеленого вогню на жовтий, коли від машиніста потрібно одноразове підтвердження пильності натисканням рукоятки пильності. Далі при проходженні з жовтим вогнем (при перевищенні певної швидкості), а також при жовтому вогні з

червоним і червоному вогні на локомотивному світлофорі вступає в дію періодична перевірка пильності машиніста з натисканням рукоятки пильності через 30 - 40 с. У всіх випадках, якщо не буде своєчасно натиснута рукоятка пильності, відбувається зрив електропневматичного клапана (ЕПК) і відбувається автостопні гальмування до повної зупинки поїзда;

- пристрої контролю швидкості руху поїзда – системи безперервного контролю швидкості. Для контролю за діями машиністів на локомотивах застосовують швидкостеміри (СК) з реєструючими пристроями, які записують на швидкостемірних стрічку фактичну швидкість руху поїзда і реєструють горіння червоного або жовтого з червоним вогню на локомотивному світлофорі, натискання рукоятки пильності і роботу автостопа. Контроль швидкості здійснюється пристроями безпеки двічі: в момент проходження колійного світлофора з жовтим вогнем, коли на локомотивному світлофорі з'являється жовтий вогонь з червоним, а також в разі проїзду закритого колійного світлофора, супроводжуваного включенням на локомотивному світлофорі червоного вогню. При червоному вогні локомотивного світлофора швидкість не повинна перевищувати 20 км / год, а при жовтому вогні з червоним - 60 км / ч. У разі перевищення контрольованої швидкості відбувається автостопні гальмування до повної зупинки поїзда.

Автоматична локомотивна сигналізація АЛС й автостопа представляють собою сукупність колійних і локомотивних пристроїв, за допомогою яких показання колійних світлофорів передаються безпосередньо в кабіну машиніста на локомотиві. До ЛС та інших пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації пред'являються такі вимоги згідно ПТЕ [14] :

- При АЛС локомотивні світлофори мають давати показання, відповідні показаннями колійних світлофорів, до яких наближається поїзд.

- При русі тільки за показаннями локомотивних світлофорів ці світлофори мають давати показання в залежності від зайнятості або вільності, що лежать попереду блок-ділянок.

- Локомотивні світлофори встановлюються в кабіні управління локомотива, моторвагонного поїзда, спеціального самохідного рухомого складу і дають сигнальні показання безпосередньо машиністові та його помічників або водію дрезини і його помічнику.

- Автоматична локомотивна сигналізація на локомотивах, моторвагонних поїздах і спеціальному самохідному рухомому складі повинна доповнюватися пристроями безпеки, що забезпечують контроль: встановлених швидкостей руху, самовільного виходу поїзда і періодичної перевірки пильності машиніста. У разі втрати машиністом здатності управління локомотивом, моторвагонним поїздом, спеціальним самохідним рухомим складом, а дрезини - спеціального самохідного рухомого складу зазначені пристрої повинні забезпечувати автоматичну зупинку поїзда перед колійним світлофором із заборонним показанням.

На станціях, розташованих на ділянках, обладнаних АБ або АЛС, що застосовується як самостійний засіб сигналізації та зв'язку, головні колії, колії приймання і відправлення пасажирських поїздів, а також приймально-відправні колії для безупинного пропускання поїздів повинні бути обладнані колійними пристроями АЛС.

Оскільки при АЛС локомотивні світлофори мають давати показання, відповідні показанням колійних світлофорів, до яких наближається поїзд, сигнали ЛС мають наступні сигнальні значення [14]:

- зелений вогонь - «Дозволяється рух; на колійному світлофорі, до якого наближається поїзд, горить зелений вогонь »;

- жовтий вогонь - «Дозволяється рух; на колійному світлофорі, до якого наближається поїзд, горить один жовтий вогонь »;

- жовтий вогонь з червоним - «Дозволяється рух з готовністю зупинитися; на колійному світлофорі, до якого наближається поїзд, горить червоний вогонь »;

- червоний вогонь спалахує в разі проїзду колійного світлофора з червоним вогнем та у разі відсутності кодів в рейковому колі при в'їзді поїздів на зайняту блок-ділянку. При чотиризначному автоблокуванні перед вхідним або інших станційних світлофорах з жовтим миготливим вогнем локомотивних світлофором подається жовтий вогонь, щоб поїзд міг знизити завчасно швидкість на двох блок-ділянках до світлофора з двома жовтими вогнями, або зелений вогонь (з міркувань прискорення пропуску приміських поїздів), якщо відхилення на бокову колію відбувається далеко за світлофором з двома вогнями.

- білий вогонь локомотивного світлофора вказує, що хоча локомотивні пристрої увімкнені, але немає сигналів від колійних світлофорів. Машиніст повинен керуватися показаннями колійних світлофорів.

1.2. Системи автоматичної локомотивної сигналізації точкового типу

За способом передачі сигналів зі шляху на локомотив пристрої АЛС бувають двох видів: точкового типу (АЛСТ) і безперервного типу (АЛСН).

Система АЛСТ застосовується на ділянках з напівавтоматичним блокуванням на підходах до станцій. Система АЛСТ здійснює локомотивну сигналізацію з метою контролю показань вхідного сигналу і автоматичне гальмування перед ним, якщо машиніст сам не вживає заходів до гальмування.

У точкової АЛС сигнали про показання колійних світлофорів передаються на локомотив в певних локальних зонах (точках) шляху. Зазвичай антена передавача точкової АЛС розташована в колії рейкового шляху. Локомотивна приймальна система розміщується під кузовом

локомотива. Передача сигналу зі шляху на локомотив відбувається протягом дуже короткого часу - тільки в момент проїзду локомотива над шляховою антеною. Сучасні технічні засоби дозволяють за цей час передати дуже великий обсяг інформації, в тому числі інформацію про сигнал колійного світлофора; довжину блок-ділянки і ухилах; наявність місць з обмеженням швидкості руху.

Однак на лініях з інтенсивним рухом поїздів застосування точкової АЛС неефективне, так як при зміні поїзної обстановки інформація про це передається на локомотив несвоєчасно і тільки в короткі проміжки часу. Тому точкова АЛС зазвичай використовується на лініях з неінтенсивним рухом.

1.2.1. Класифікація систем АЛСТ

Точкові системи АЛС за принципом дії в свою чергу поділяють на механічні, оптичні, контактні, індукційні та з γ -випромінюванням (рис 1.1) [1]. Індукційні системи можуть бути з джерелом на колії і джерелом на локомотиві, які в свою чергу діляться на системи з джерелом постійного струму і змінного струму.



Рис. 1.1. Класифікація систем АЛС точкового типу

Однією з перших систем АЛСТ була механічна система (1906 г.). На шляху біля сигналу встановлюють важіль, який повертається і положення якого пов'язане з показанням сигналу. При заборонному показанні важіль повертається і займає вертикальне положення, при якому рукоятка крана гальмівного пристрою локомотива входить в зачеплення і при проїзді з підвищеною швидкістю відкриває гальмівний кран. Такий пристрій застосовується на лініях метрополітену.

В системі АЛСТ з електроконтактним пристроєм інформацію з колії на локомотив передає джерело живлення постійного струму, розташоване на шляху. Цей струм через пристрій, перемикаючий полярність, подається на контактну шину, змонтовану на шпалах. На локомотиві закріплені спеціальні гнучкі струмозійомники, які, ковзаючи по шині, замикають коло обмотки поляризованого реле, встановленого на локомотиві. Залежно від показання сигналу зміниться полярність і, отже, показання локомотивного сигналу.

Є можливість створення системи АЛСТ з використанням оптичної передачі інформації зі шляху на локомотив. У цій системі, яка була

випробувана в Чехословаччині, джерело світла і фотоприймач розташовують на локомотиві. На колії біля сигналу встановлюють скляну призму, що повертається, а поворот її ставиться в залежності від показань семафора.

В індуктивних системах АЛСТ інформація передається зі шляху на локомотив за рахунок зміни магнітного поля. Існує велика різноманітність систем як на постійному струмі, так і на змінному, в яких використовується електромагнітний спосіб зв'язку між локомотивом і колійними пристроями.

Системи АЛСТ з γ -випромінюванням по конструктиву схожі на АЛСТ з використанням оптичної передачі інформації зі шляху на локомотив. На колії біля сигналу встановлюють спеціальний пристрій, що виробляє γ -випромінювання, а спеціальний пристрій на локомотиві зчитує данні, проїжджаючи біля сигнальної точки.

Не дивлячись на малу ефективність таких систем багато країн світу застосовує системи автоматичної локомотивної сигналізації точкового типу, як наприклад система контактної дії Crocodile (Франція, Великобританія) та індукційні Indusi і PZB90 (Німеччина, Австрія), що працюють при швидкостях до 160 км / год.; АЛСТ з активними колійними балізами EBICAB900 (Фінляндія, Швеція) при швидкості поїзда до 220 км / год.; серія систем з різними модифікаціями ZUB (Швейцарія, Данія, Німеччина, Австрія Нідерланди), остання з яких ZUB-242 (Німеччина) із застосуванням євробаліз при швидкості поїзда до 350 км / год [16]. В Україні АЛСТ не має великого розповсюдження, адже для цього потрібна реорганізація існуючої системи АЛСН та влаштування АЛСТ. Така система для нашої країни актуальна лише для мало задіяних ділянок з малим вантажообігом.

1.3 Системи автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу

Безперервні системи АЛС забезпечують постійну передачу сигнальної інформації з колії на локомотив по безперервному каналу зв'язку.

Безперервним каналом може служити рейкове коло автоблокування або шлейф, прокладений уздовж шляху руху поїзда. По каналу зв'язку сигнальна інформація зашифровується та передається у вигляді числового або частотного коду.

1.3.1 Класифікація систем АЛСН

Системи АЛСН бувають електро-контактного принципу дії, індуктивного, радарного та радіорелейного (рис. 1.2) [1]. Їх різниця полягає у способі передавання інформації на локомотив. Індуктивні системи АЛС поділяють на низькочастотні, що працюють зі струмами сигнальних частот в межах 25-2000 Гц, і високочастотні, у яких сигнальні струми займають спектр вище 30 кГц. У системах, що використовують низькочастотний діапазон, в якості ліній зв'язку застосовують рейкові нитки, за якими пропускають сигнальні струми, що утворюють магнітне поле навколо рейок. Найбільшу популярність отримали індуктивні системи АЛСН, насамперед в Україні.

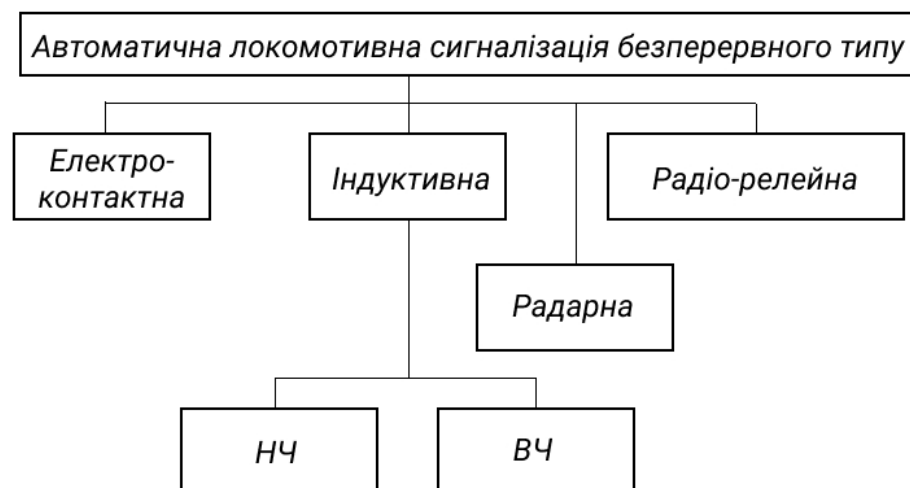


Рис.1.2 Класифікація АЛС безперервного типу

Індуктивні високочастотні системи АЛС безперервної дії передають інформацію на локомотив частотами вище 30 кГц. Використання рейкових

ниток в цьому діапазоні неможливо через велике загасання сигналу, тому між рейками по шпалах прокладають спеціальні кабельні лінії - шлейфи, по яких пропускають високочастотні сигнальні струми. Навколо проводів лінії утворюється магнітне поле, яке перетинає спеціальні приймальні котушки на феритових сердечниках, закріплених на локомотиві. Сигнал, що знімається з прийомних котушок, посилюється і надходить до дешифраторного пристрою та на виконавчі органи. Найчастіше застосовують двійковий код, в якому «1» відповідає одна частота, а «0» - інша. Інформація передається телеграмою комбінацією нулів і одиниць.

Недоліками високочастотних систем АЛС є легка пошкоджуваність кабельного шлейфу при ремонті залізничної колії, зміні шпал і рейок, зварювання рейок і ін. Шлейф випромінює електромагнітну енергію і тому створює завади для ліній зв'язку. Пошкодження ізоляції призводить до збільшення загасання, а сніг, що покриває шлейф в зимовий час, збільшує його в значних межах.

Найбільш широке застосування в даний час отримали системи АЛС з використанням в якості каналу зв'язку рейкових ниток, що живляться кодовою сигнальним струмом низькочастотного діапазону.

Окрім України – система АЛСН, системи автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу застосовуються і в інших країнах світу. До прикладу такі системи як LZB-80, 500, 700, 702 (Німеччина), де інформація передається по шлейфу, та системи АЛСН (Італія), ІА, ІS, ІВ, ІD (Японія), в яких інформація надходить по рейковим колам при швидкостях поїздів до 250 км/год.; система TVM300/430 (Франція, Люксембург), де також інформація надходить по рейковим колам, але вже при швидкості поїзда до 320 км/год.; система FZB (Німеччина) АЛСН з радіозв'язком через базові системи GSM-R, ISDN та при швидкості руху до 350 км/год. тощо [16].

1.3.2 Система АЛСН

В системі АЛСН пристрої АЛС безперервно передають інформацію на локомотиви по рейкових лініях, що дозволяє машиністу своєчасно реагувати на зміну поїзної ситуації та порушення цілісності рейкових ліній.

На локомотив перед першою колісною парою встановлюють приймальні котушки, в яких наводиться е.р.с. при зміні магнітного поля, утвореного сигнальним струмом. Для передачі інформації на локомотив сигнальний струм в рейки посиляють імпульсами різної тривалості і послідовності - кодами. Кожен код відповідає певному показнику колійного сигналу, до якого наближається локомотив [3].

Можливі й інші варіанти передачі безперервної інформації на локомотив: безперервним струмом постійної частоти; струмом, що циклічно переривається з певною частотою; чергуванням передачі струмів двох різних частот; струмами, що циклічно перериваються з різними частотами. В даний час розроблений і застосовується варіант циклічного переривання струму певної частоти за допомогою спеціального шифратора – кодового трансмітера.

Принцип дії системі АЛСН полягає в наступному (рис. 1.3). Показання світлофора передаються на локомотив за допомогою рейкових кіл. Назустріч поїзду від світлофора, що попереду, в рейкове коло подається змінний кодовий струм. Він наводить у прийомних котушках (ПК) локомотива кодові імпульси теж змінного струму (близько 0,2 В). Ці імпульси надходять через фільтр (Ф) в підсилювач (У), до якого підключено генератор (Г), де перетворюються і посилюються. У дешифраторі (ДШ) коди розшифровуються і в залежності від їх значення включається відповідний вогонь локомотивного світлофора (ЛС). Якщо на колійному світлофорі горить зелений вогонь, то в колі протікає струм коду 3 (три імпульсу в кодовому циклі) і на локомотивному світлофорі горить також зелений вогонь; при горінні жовтого вогню йде код з двома імпульсами; від світлофора з червоним вогнем надходить код КЖ і на світлофорі локомотива

горить жовтий колір з червоним. Свисток (СВ) вмикається при зміні більш дозволяючого сигналу на ЛС на менш дозволяючий, а машиніст натисканням рукоятки пильності (РБ) підтверджує свою пильність. Якщо він не натисне РБ, то спрацює електропневматичний клапан (ЕПК) та гальмівна магістраль (ТМ) спрацює і автоматично знизить швидкість поїзда.

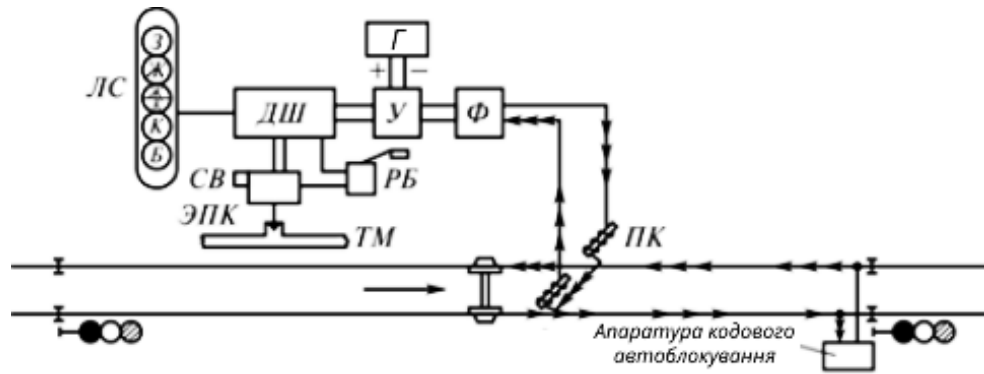


Рис.1.3 Схема автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу

1.3.3 Система АЛС-ЕН

З підвищенням швидкостей руху гальмівні шляхи збільшуються. Тому при існуючій розстановці колійних світлофорів, яка виконана з урахуванням забезпечення необхідної пропускної спроможності вантажних поїздів, в межах гальмівного шляху високошвидкісного поїзда може виявитися до шести блок-ділянок. Для забезпечення безпеки руху необхідна передача інформації не тільки про вільність колії, а й про допустимі швидкості, яка залежить від технічного стану колії (наявність кривих ділянок колії, недостатньої міцності колії на окремих ділянках, штучних споруд тощо). Застосовується на Російській залізниці, зокрема ділянка Санкт-Петербург - Москва Жовтневої залізниці, а також на дорогах колишніх країн СНД.

Необхідною інформативністю володіє система нового покоління з абсолютним ступінчастим контролем всіх градацій швидкості АЛС-ЕН, в якій передаються повідомлення про кількість вільних блок-ділянок (до шести), про швидкість проходження чергового світлофора (16 градацій в

діапазоні від 0 до 200 км/год), про довжину попередньої блок-ділянки (більше або менше гальмівного шляху нормативного поїзда), про рух поїзда по перегону (головна колія на станції або з відхиленням на бокову колію). Також передаються повідомлення про наближення поїзда до закритого світлофора або світлофора з запрошувальним вогнем. На цифровому індикаторі машиніста відображається інформація про швидкість, яка полягає в показаннях колійних вхідних, маршрутних, вихідних і прохідних світлофорів (32 сигнальних показання) [11].

Ця система входить в єдиний ряд систем автоматичного управління рухом поїздів, що розробляються МПТом і Конструкторським бюро Головного управління сигналізації зв'язку МПС спільно з іншими організаціями, а також у співпраці з країнами - членами СЕВ. У 1986 році був розроблений проект обладнання ділянки Москва - Сонячна. Зараз експлуатується на дорогах колишніх країн СНГ. В системі АЛС-ЕН реалізований ступінчастий абсолютний контроль швидкості. Передбачено абсолютний контроль всіх градацій швидкостей, у тому числі автоматичне обмеження максимальної швидкості руху на зелений вогонь колійного світлофора і при русі по місячно-білому вогню локомотивного світлофора. Максимальні швидкості руху на зелений вогонь вводяться вручну в локомотивний пристрій для різних категорій поїздів перед початком руху. Максимальна швидкість руху по місячно-білому вогню 20 км/год є граничною при виконанні маневрової роботи.

Система АЛС-ЕН відноситься до класу безперервних систем і містить у собі колійні і локомотивні пристрої (рис. 1.4).

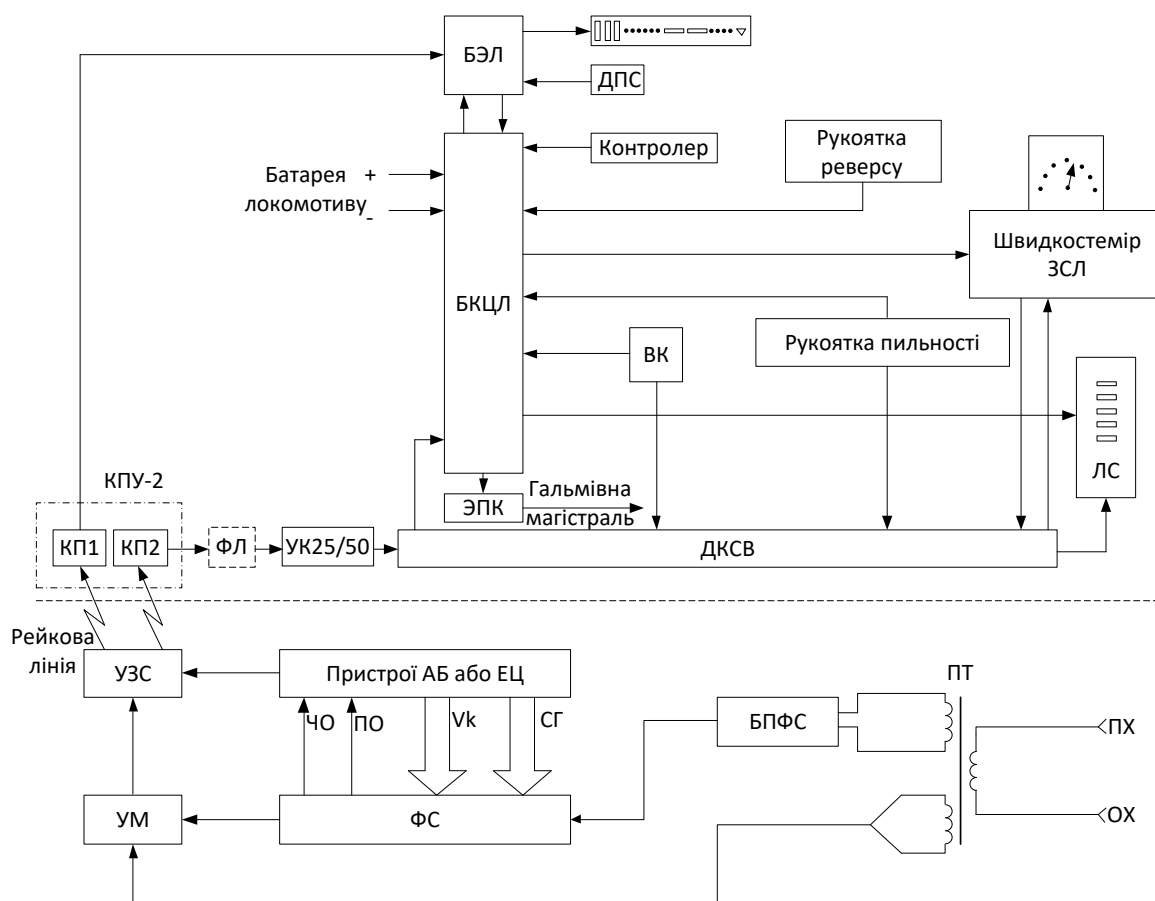


Рис. 1.4 Структурна схема колійних і локомотивних пристроїв системи АЛС – ЕН

Колійні пристрої системи АЛС-ЕН містять формувач сигналів ФС, з виходу якого фазоманіпульовані сигнали надходять на підсилювач потужності УМ і далі через пристрій захисту й узгодження УЗС у рейкову лінію. ФС формує сигнали АЛС за інформацією, що надходить від пристроїв автоблокування або електричної централізації (входи ВК і СГ). Живлення на ФС подається від спеціального блоку БПФС, що містить випрямляч, згладжуючий фільтр і стабілізатори напруги. Мережний трансформатор ПТ служить для одержання необхідних живлячих напруг. Блоки ФС, БПФС і УМ мають габаритні й установленні розміри, прийняті для реле ДСШ. У блоці ФС виходи ЧО (часткова відмова) і ПО (повна відмова) дозволяють контролювати стан колійної апаратури за допомогою пристроїв ЧДК або «Прогноз».

До складу локомотивних пристроїв системи АЛС-ЕН входять прийомні котушки КП1, КП2, а також блоки електронний БЭЛ, індикації БИЛ і комутації кіл локомотива БКЦЛ. Блок БЭЛ містить приймач сигналів АЛС-ЕН; вимірювач швидкості руху поїзда з датчиком колії й швидкості ДПС, який встановлюється на редукторі або буксі локомотива; декодер сигналів АЛС; комірку логічної обробки інформації, у якій порівнюються фактична, контрольована й допустима швидкості; пристрої контролю функціонування та підсилювач сигналів керування клапаном екстреного гальмування.

На блоці БИЛ відображається шістьма світлодіодними індикаторами інформація про вільність колії поперед поїздом (до шести блок-діляниць; значення контрольованої швидкості і допустимої швидкості. Крім того установлені світлодіодні індикатори руху по перегону (головному шляху станції) і по відхиленню на бокову колію станції, а також індикатори довжини наступної блок-діляниці.

Через блок комутації кіл локомотива БКЦЛ із пристроями АЛС-ЕН пов'язані датчики інформації про режим роботи локомотива: контакти контролера та рукоятки реверсу (для визначення напрямків руху поїзда і його скочування), контакти рукоятки (педалі) пильності та кнопки вимикання червоного вогню ВК при русі локомотива по некодуємій ділянці. Через блок БКЦЛ до пристроїв АЛС-ЕН підключений також електропневматичний клапан екстреного гальмування ЕПК. Основне призначення блоку БКЦЛ полягає в гальванічній розв'язці й узгодженні сигналів керування з колами локомотива [11].

Безпека руху поїздів при функціонуванні системи АЛС-ЕН досягається введенням структурної надлишковості в апаратуру. Шляхова апаратура виконана у вигляді троїрованої мажоритарної структури, а локомотивна - у вигляді дубльованої структури

1.3.4 Система TVM 300/430

Система локомотивної сигналізації АЛС безперервного принципу дії типу TVM 300 розроблена в 80-і роки минулого століття на мережі залізниць Франції для руху поїздів зі швидкістю до 300 км/год і допустимим інтервалом попутного проходження близько 4 хв. Вся сигнальна інформація на локомотив надходить по рейкових нитках на несучих частотах (f_n) 1700 і 2300 Гц для парного шляху і 2000 і 2600 Гц для непарного. Ці сигнали модулюються частотами (f_m) 10,3 - 29 Гц, що дозволяє при кроці модуляції в 1,1 Гц отримати 18 частотних діапазонів в залежності від допустимої швидкості руху поїздів [10].

Вдосконалені пристрої АЛС типу TVM 430 застосовуються для залізничних ліній з максимальною швидкістю руху поїздів 320 км / ч і мінімальним інтервалом попутного проходження 3 хв.

Управління рухом поїздів високошвидкісних лініях здійснюється з єдиного центру управління, основними функціями якого є: контроль за швидкістю руху поїздів; дистанційне керування об'єктами СЦБ - переведення стрілок, приготування маршрутів, включення вогнів світлофорів і перемикання тягових підстанцій.

Безстиківий шлях ліній обладнаний РЦ типу VM 71 і через кожні 20 км між коліями - блоками контролю швидкості. Це дозволяє передавати по рейкових нитках на локомотив інформацію про допустиму швидкість руху поїзда, а машиністу постійно порівнювати її значення з фактичною. Машиніст сам керує процесом гальмування, а комп'ютер автоматично перевіряє умову перевищення значення допустимої швидкості над фактичною. Якщо ця умова виконується, то управлінські функції машиніста не обмежуються і навпаки, якщо зазначена умова не виконується, то автоматично здійснюється зниження швидкості руху поїзда аж до його зупинки (рис.1.5).

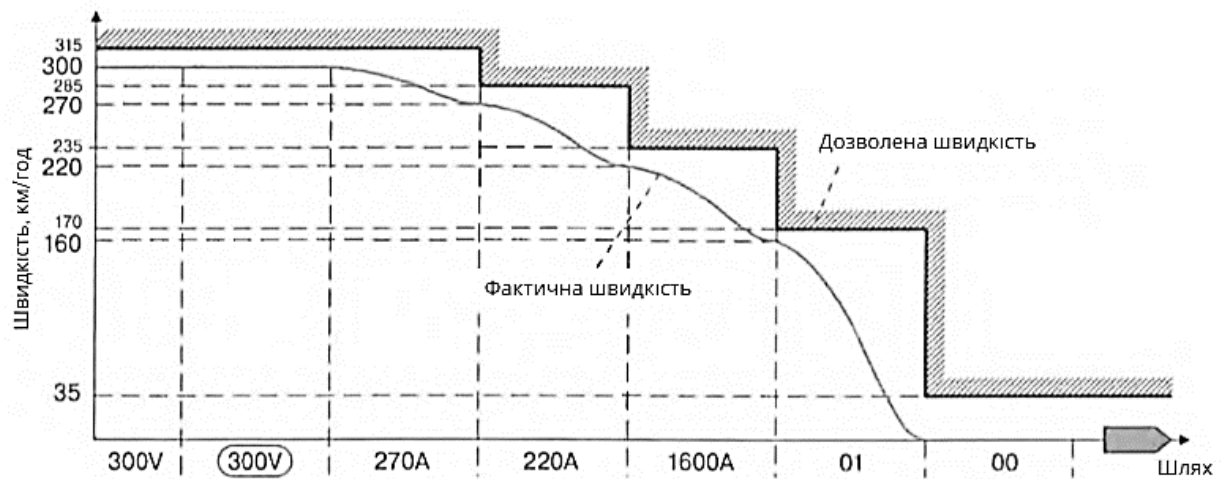


Рис. 1.5 Контроль гальмування в системі TVM 300

Основною відмінністю пристроїв TVM 430 від TVM 300 є те, що вони можуть сприймати збільшене число градацій допустимих швидкостей руху поїздів 170, 230, 270, 300 і 320 км/год. Це викликано скороченням мінімального інтервалу попутного прямуювання поїздів до 3 хв і зменшенням довжини РЦ до 1500 м.

При русі по високошвидкісній магістралі локомотивів, не обладнаних пристроями TVM 430, пристроями АЛСТ сприймаються градації швидкості тільки 170 і 230 км / год.

З метою зменшення впливу інерційності системи при зміні сигнальних показань в TVM 430 передбачено два види індикації. Немигаюча індикація значення допустимої швидкості інформує машиніста про можливість руху поїзда за наступним блок-ділянці без зниження швидкості, а миготлива - зі зниженням швидкості.

Надійність і безпека роботи пристроїв TVM 430 ґрунтуються на інформаційній, часовій і апаратній надмірності.

1.4. Комплексні локомотивні пристрої забезпечення безпеки руху поїздів

1.4.1 Комплексний локомотивний пристрій забезпечення безпеки руху поїзда КЛУБ-У

У 1994 році для заміни АЛС і пристроїв безпеки перших поколінь був створений КЛУБ. У 1999 році створено КЛУБ-У (комплексний локомотивний пристрій безпеки) для установки на магістральному рухомому складі. Його особливості - використовується зарубіжна елементна база, тому кількість відмов не дуже велика. При установці КЛУБ-У з АЛС всі прилади безпеки перших поколінь знімаються. КЛУБ-У може працювати спільно з САУТ всіх модифікацій, ТСКБМ, мікропроцесорною системою управління рухом і САВПЕ. Застосовується переважно на залізницях Росії [16, 17].

КЛУБ-У призначений для контролю безпечного прямування поїзда за допомогою електронної карти ділянки і супутникової навігації. В КЛУБ-У передбачено визначення координат поїзда за допомогою супутникової навігаційної системи (СНС). Є також точковий канал зв'язку (ТКС) і цифрова радіозв'язок з диспетчером і черговим по станції. Комплексний локомотивний пристрій безпеки (КЛУБ) виконано на мікропроцесорній базі і має резервування всіх функціональних модулів.

КЛУБ-У реалізує наступні основні функції:

- прийом сигналів від колійних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації АЛС або багатозначної автоматичної локомотивної сигналізації АЛС-ЕН ;
- вимірювання швидкості, визначення місця розташування (координат) локомотива або МВРС і поточного часу;
- контроль тиску в основних частинах гальмівної системи;
- визначення допустимої швидкості руху поїзда в залежності від показань світлофора, що попереду, і відстані до нього, постійних і тимчасових обмежень швидкості, категорії поїзда, його ваги і довжини;

- безперервне порівняння фактичної швидкості з допустимою і автоматичне відключення тяги, гальмування поїзда при перевищенні допустимої швидкості;
- виключення несанкціонованого машиністом руху ("скочування") локомотива або МВРС;
- контроль пильності і неспання машиніста;
- індикація сигналів АЛС або АЛС-ЕН, параметрів руху локомотива або МВРС, значень допустимої швидкості та іншої необхідної машиністу інформації, сформованої КЛУБ-У або одержуваної від САУТ на уніфікованому блоці індикації;
- реєстрація сигналів АЛС або АЛС-ЕН параметрів руху локомотива або МВРС, значень допустимої швидкості керуючих сигналів, що формуються КЛУБ-У, в знімну касету реєстрації.

Апаратура система КЛУБ-У приведена на рис 1.6 [17].

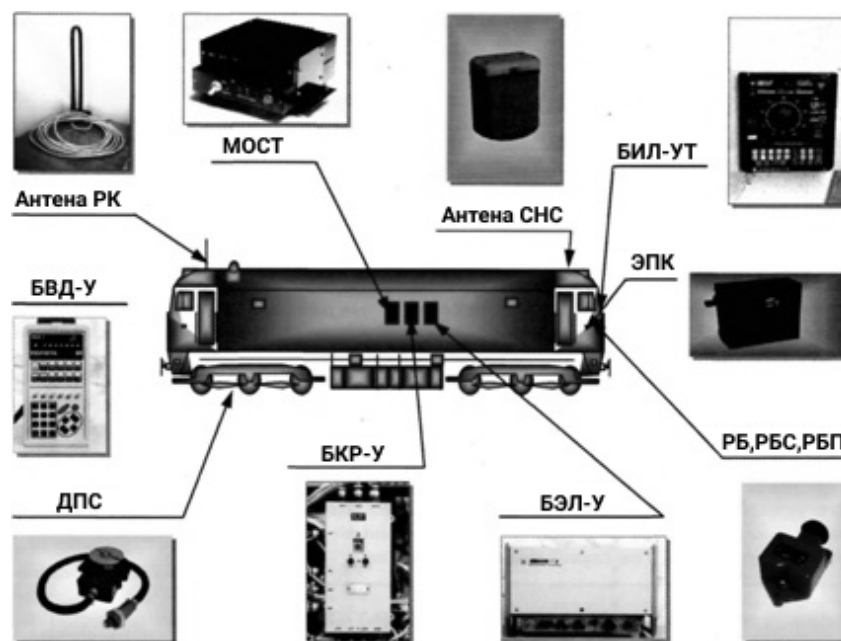


Рис.1.6 Структурна схема системи КЛУБ-У

Локомотивний блок електроніки БЭЛ призначений для отримання сигналів від прийомних котушок КПУ, антен точкового каналу зв'язку, приймача РК, антени СНС, датчиків шляху і швидкості, а також датчиків тиску, кіл локомотива, рукояток і кнопок БИЛ, систем САУТ, ТСКБМ і

УСАВП. Передача інформації з станційних пристроїв на локомотивні в системі КЛУБ-У частотою 460 МГц проводиться по цифровому радіоканалу (РК). Наказом чергового по станції або поїзного диспетчера за допомогою даних по РК забезпечується екстрена зупинка поїзда незалежно від дій машиніста, після чого виключається його рух без спеціального дозволу чергового по станції або диспетчера. Інші функції блоку електроніки - обробка інформації, що приймається, видача її на БИЛ для індикації та реєстрації в системі САУТ і автоведення, а також управління електропневматичним клапаном ЕПК. Блок БЭЛ має модульну структуру. Зв'язок між модулями і з зовнішніми блоками здійснюється по CAN-інтерфейсу.

Блок введення і індикації БИЛ (розроблені і впроваджені модифікації блоку -БИЛ-У, БИЛ-УВ, БИЛ-В, БИЛ-ВВ, БИЛ-УТ) забезпечує відображення поточного часу, сигналів АЛС і АЛС-ЕН, параметрів руху поїзда (координати, швидкості) за даними, що надходять від блоку БЭЛ, а також інформації про значення цільової та допустимої швидкості руху. Даний блок формує світлову сигналізацію "Увага" і звукову при зміні інформації, що надходить (крім координати, часу і фактичної швидкості, тиску в гальмівній магістралі і гальмівних циліндрах), а також при натисканні на кнопки клавіатури, натисканні і відпусканні рукояток пильності РБ і РБС.

Блок БИЛ дозволяє здійснити введення і відображення локомотивних і поїзних характеристик; індикацію режиму роботи, готовності касети реєстрації, а також інформації введення і тестування; запис оперативної інформації про рух поїзда, локомотивних і поїзних характеристик, отриманих з блоку БЭЛ, на касеті реєстрації КР.

До складу блоку БИЛ входять уніфікований локомотивний блок індикації БИЛ-У, блок введення БВЛ-У, рукоятки пильності РБ, РБС (спеціальна) і РБП (помічника машиніста). За допомогою вбудованого блоку БВЛ-У вводять предрейсову інформацію і управляють режимом роботи системи безпеки.

Блок комутації і реєстрації БКР служить для обробки сигналів від датчиків тиску і підключення до БЭЛ периферійних пристроїв.

1.4.2 Система АЛС-МУ

Автоматична локомотивна сигналізація АЛС-МУ це сучасна форма для підвищення безпеки руху в поїзної і маневрової роботи локомотива, а також поліпшення умов ведення поїздів. ТОВ «Трансприлад» (Хмельницька обл.) є розробником апаратури АЛС-МУ, АЛС-МП з 2000 року, яка наразі застосовується на залізницях України, країн СНД та Європи [2].

Система АЛС побудована на мікроелектронній елементній базі, дозволяє значно зменшити габарити, енерго- і матеріаломісткість апаратури, підвищити надійність роботи пристроїв, спростити процес проектування, розширити функціональні можливості, а також скоротити витрати на установку і обслуговування. Апаратура АЛС-МУ забезпечує:

- роботу за принципом "гарячого" резервування;
- прийом і дешифрацію сигналів АЛСН;
- індикацію машиністу локомотива сигналів світлофора;
- контроль і індикацію параметрів руху (фактичної швидкості, пройденого шляху, добового часу);
- регулярний контроль пильності машиніста з допомогою індикації і звукової сигналізації;
- формування і індикацію допустимої швидкості руху, в залежності від конструктивних особливостей локомотива і показників локомотивного світлофора:
- контроль і індикацію тиску повітря в гальмівній магістралі локомотива;
- контроль швидкості руху і автостопне гальмування при перевищенні допустимої швидкості за показниками локомотивного світлофора;

- виключення самовільного руху локомотива (скочування);
- реєстрацію параметрів руху в електронній пам'яті касети реєстрації.

До основних переваг слід віднести такі чинники: сучасна мікропроцесорна елементна база; збільшена експлуатаційна надійність апаратури; застосовано резервування каналів обробки інформації (принцип "гарячого" резервування); збільшена перешкодозахищеність апаратури під час прийому і обробки інформації; збільшено об'єм інформації, що передається локомотивній бригаді; збільшено контроль пильності машиніста; виключений проїзд колійних світлофорів і інших місць обмеження швидкості руху; низьке споживання струму і невеликі габаритні розміри. Структурна схема системи наведена на рис.1.7.

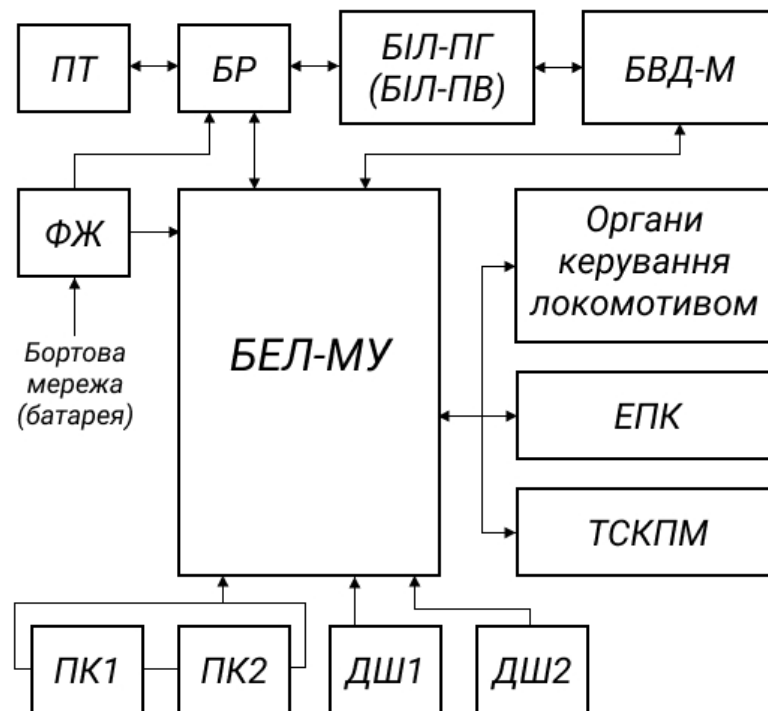


Рис.1.7 Структурна схема системи АЛС-МУ

Згідно структурної схеми до складу апаратури АЛС-МУ входять: блок електроніки локомотивний (БЕЛ-МУ); блок індикації локомотивний горизонтальний (БІЛ-ПГ); блок індикації локомотивний вертикальний (БІЛ-ПВ); датчик шляху і швидкості (ДШШ-50); блок реєстрації (БР) і касета реєстрації; перетворювач тиску (ПТ); блок введення і діагностики (БВД-М);

фільтр живлення (ФЖ); електропневматичний клапан (ЕПК); телеметричну систему контролю пильності машиніста (ТСКПМ); локомотивні прийомні котушки (ПК1, ПК2); датчики шляху та швидкості (ДШ1, ДШ2) [2].

1.4.3 Система Improtrain 250

Сучасна бортова система Improtrain 250, розроблена вітчизняною українською фірмою НВП «Імпульс» (м. Северодонецьк) для підвищення безпеки, автоматизації управління функціями безпеки локомотивів і моторвагонного рухомого складу. Використовується на залізницях України, країн СНД та Європи [26].

Може застосовуватися на залізницях, в тому числі на швидкісних і високошвидкісних ділянках з автономною і електричною тягою постійного і змінного струму, обладнаних пристроями автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), багатозначною автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС-ЕН); на ділянках залізниць, обладнаних системою координатного регулювання руху поїздів на базі цифрового радіоканалу. Структура система наведена на схемі рис.1.8.

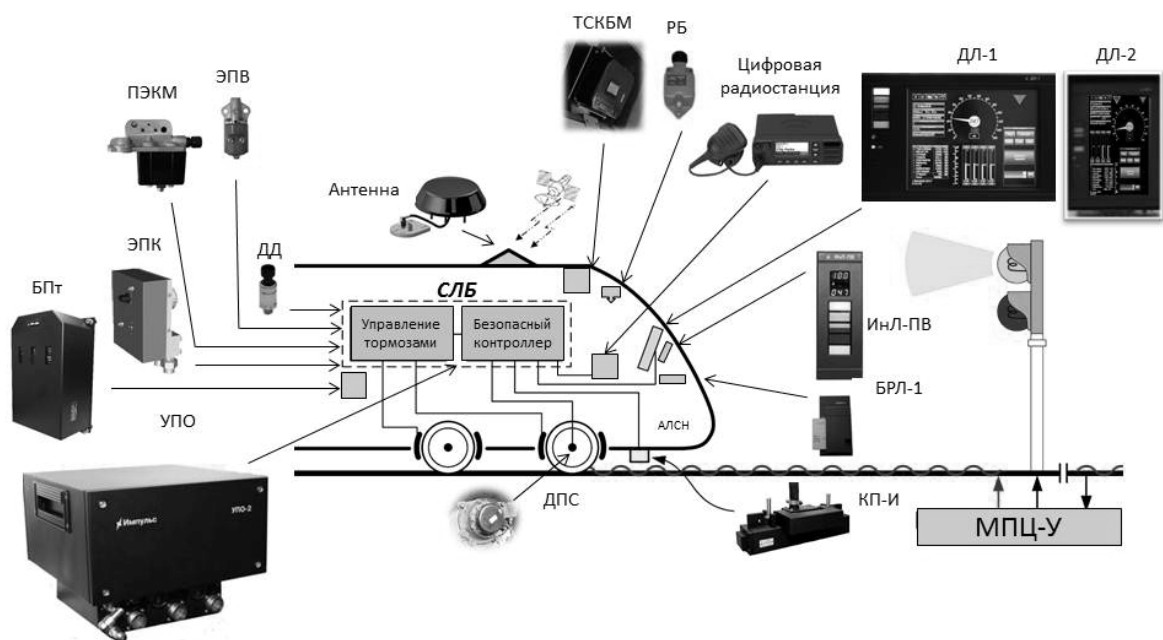


Рис. 1.8 Структурна схема системи Improtrain 250

Згідно структурної схеми локомотив оснащений антенами РК и СНС для обміну інформацією між диспетчером та локомотивом, а також вони реалізують прийом інформації зі супутника. До складу бортової апаратури Improtrain 250 входить система локомотивної безпеки (СЛБ), що включає в себе елементи керування гальмами (датчики тиску ДД, електропневматичний вентиль ЕПВ та клапан ЕПК, приставки до крану машиніста ПЭКМ), елементи контролю за допомогою безпечного контролера (цифрова радіостанція, пристрій перетворення і обробки інформації УПО, датчик шляху і швидкості ДПС, котушка прийому сигналів АЛСН КП-И, локомотивні дисплеї ДЛ-1, ДЛ-2, індикатор локомотивний помічника машиніста ИнЛ-ПВ, блок реєстрації локомотива БРЛ) та блок живлення БПт. Також у кабіні машиніста наявна рукоятка пильності РБ та телемеханічна система контролю активності машиніста ТСКБМ.

Система виконує такі основні функції як: визначення швидкості і координат локомотива за інформацією від пристроїв супутникової навігації і датчиків шляху і швидкості; формування значення допустимої швидкості руху з використанням сигналів АЛС, АЛС-ЄП, радіоканалу, даних електронної карти; індикація необхідної інформації для машиніста і його помічника; забезпечення гальмування при перевищенні фактичної швидкості над допустимою швидкістю; виключення проїзду світлофорів із заборонними сигналами; виключення несанкціонованого руху локомотива (скочування); службове гальмування через приставку крана машиніста по команді, переданої по цифровому радіоканалу; контроль пильності машиніста; запис на знімну касету реєстрації параметрів руху локомотива; взаємодія з іншими бортовими системами локомотива за допомогою цифрових інтерфейсів (CAN, MVB, RS-485) [26].

1.5 Висновки по розділу 1

Системи автоматичної локомотивної сигналізації є невід'ємною складовою безпеки руху на залізницях. Враховуючи тенденцію до збільшення швидкостей руху поїздів, розвиток та удосконалення систем АЛС переходить на перший план, щодо впровадження швидкісного руху. А колійні світлофори, свою чергу, навпаки втрачають свою інформативність та цінність.

Було проведено огляд існуючих локомотивних пристроїв забезпечення безпеки руху поїздів та встановлено, що для збільшення швидкостей руху поїздів існуючих пристроїв недостатньо. Вони не несуть усієї необхідної інформації для влаштування безпечного руху поїзда. Отже постає необхідність їх вдосконалення.

Також у першому розділі було розглянуто усі види та класи систем автоматичної локомотивної сигналізації, проаналізовано усі функціональні можливості кожної із них. Насамперед, ретельний аналіз допоміг виділити найсучасніші елементи бортової системи автоматичної локомотивної сигналізації, які підвищують безпеку руху поїздів, та які необхідні для влаштування швидкісного руху:

- електронна карта та супутникова навігація, які забезпечать контроль місцеположення поїзда та введення швидкісних обмежень;
- багатозначна АЛС, що дозволить збільшити пропускну спроможність залізниць за рахунок більш точних даних, щодо швидкостей руху поїзда;
- радіоканал між локомотивом та черговим по станції, задля передачі на локомотив більш повної інформації про поточну поїзну ситуацію, інформації про тимчасові обмеження швидкості та ін.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЛОКОМОТИВНОГО ПРИСТРОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДА

2.1. Структура та принцип дії локомотивного пристрою забезпечення безпеки поїзда

Аналіз стану безпеки руху на мережі залізниць за тривалий період показує, що такі грубі порушення, як проїзди заборонних сигналів, неправильне керування гальмами, перевищення встановлених швидкостей, на жаль, продовжують мати місце. Подібні неправомірні дії викликають катастрофи і аварії з тяжкими наслідками і серйозні труднощі в організації нормальної роботи залізниць. Аби контролювати дії працівників залізниці, а також зменшити ризик появи небезпечних відмов, локомотив обладнують пристроями безпеки, які фіксують параметри руху поїзду, а у разі невідповідності умовам виконання безпеки руху поїзда через дії машиніста – примусово зупиняють поїзд. Серед цих параметрів - швидкість руху, час, робота пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації, автоматичних гальм і ряду інших пристроїв, що забезпечують безпеку руху [7].

У рамках даної роботи пропонується локомотивний пристрій безпеки, структура якого наведена на рис.2.1.

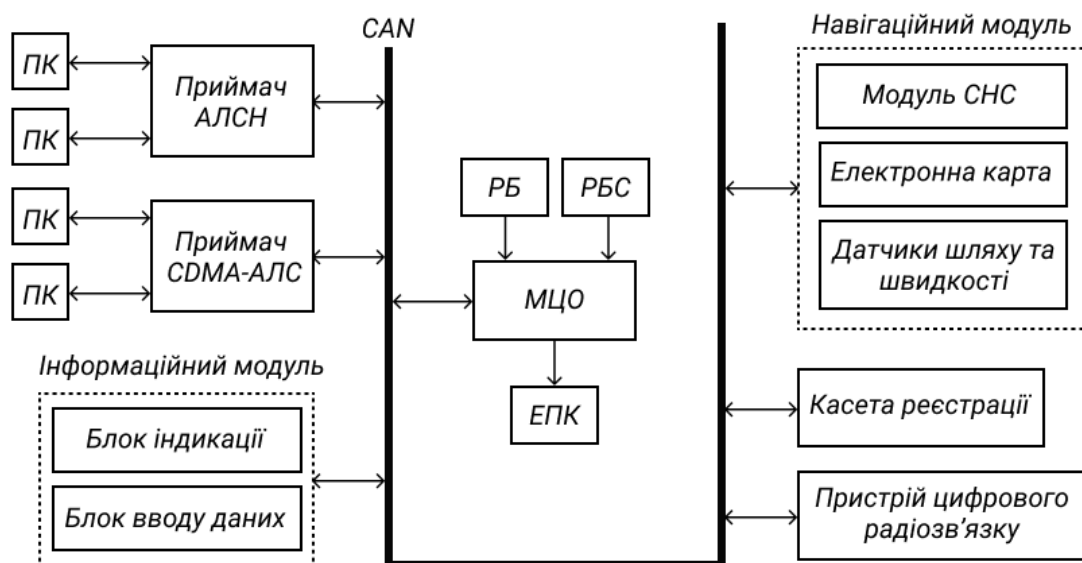


Рис.2.1 Структура локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

Пристрій побудовано на основі CAN-інтерфейсу - системі цифрового зв'язку і керування пристроями, що дозволяє отримувати дані від усіх елементів системи, забезпечує їх обмін інформацією та керівними командами. Згідно рис.2.1 пристрій включає в себе такі елементи:

- Модуль центральної обробки (МЦО) – центральний вузол даної структури, виконує обробку інформації, що поступає від усіх периферійних вузлів, а також подачу керуючих команд за необхідності.
- Рукоятки РБ та РБС – призначені для перевірки пильності машиніста. Дані прилади підключені до МЦО напряму через певні елементи узгодження.
- Електропневматичний клапан (ЕПК) –приводить в дію екстрене автоматичне гальмування при втраті машиністом пильності.
- Блок прийому сигналів АЛС – відповідає за отримання даних від АЛС, їх дешифрування, передачу до МЦО та виведення умовного позначення дозволеної швидкості на локомотивний світлофор;
- Блок прийому сигналів CDMA-АЛС – відповідає за отримання даних від розробленої системи CDMA-АЛС, їх дешифрування, передачу до МЦО та виведення умовного позначення дозволеної швидкості на локомотивний світлофор;
- Інформаційний модуль – включає в себе блок вводу даних та блок індикації, що дають можливість машиністу вводити передрейсові дані, а також бачити інформацію про коди АЛСН, швидкість, місцезнаходження.
- Навігаційний модуль - включає в себе модуль супутникової навігації СНС (дозволяє за допомогою супутникових систем визначати поточне місцезнаходження поїзда, а також його швидкість), електронну карту (місцезнаходження), а також датчики шляху і швидкості (дозволяють отримати інформацію про фактичну швидкість. Таким чином, можна найбільш точно визначити ділянку колії, на якій у даний момент

перебуває поїзд, а також фактичну (обирається найбільша з усіх представлених), допустиму (найменша з визначених) та цільову швидкості.

- Касета реєстрації - дозволяє записувати та зберігати інформацію про рух рухомого складу та роботи локомотивних пристроїв.
- Пристрій цифрового радіозв'язку – забезпечує зв'язок кабіни машиніста із пунктом управління. Використовується для передачі на локомотив команд керування рухом поїзду (наприклад, на зупинку або дозвіл на проїзд заборонного сигналу) та інформації про тимчасові обмеження швидкості на певних ділянках маршруту.

Розроблений пристрій забезпечення безпеки руху поїздів побудований таким чином, аби розширити функціональні можливості системи у порівнянні із діючою системою АЛС. Спираючись на досвід інших країн пристрій забезпечення безпеки руху поїзда володіє наступними функціями [10]:

- прийом і дешифрування сигналів АЛС, CDMA-АЛС;
- інформування машиніста про показання світлофорів, зокрема вільних блок-ділянок, фактичної швидкості і допустимої на даній ділянці шляху швидкості руху;
- інформування машиніста про координати місця розташування локомотива з точністю до 10 м за допомогою супутникової навігації;
- інформування машиніста про відстані до контрольних точок (станції, переїзду, моста, тунелю, стрілки, світлофора, небезпечного місця та ін.), що зберігаються в електронній карті;
- регулярний контроль пильності машиніста;
- автоматичне включення екстреного гальмування при виникненні небезпечних ситуацій;
- забезпечення екстреного гальмування по переданому по радіоканалу наказу чергового по станції незалежно від дій машиніста;

- виключення проходження ділянки із заборонним сигналом світлофора без переданого по радіоканалу дозволу чергового по станції;
- реєстрація параметрів руху в електронній пам'яті касети реєстрації (чорний ящик).

2.2. Алгоритм роботи локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

Центральним вузлом локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда є модуль центральної обробки (МЦО). Алгоритм його роботи представлений на рис. 2.2. Після початку роботи відбувається ініціалізація усіх його складових для підготовки до початку роботи. Далі відбувається перевірка тиску у гальмівній магістралі. При несправності поїзд не почне рух аж до її усунення. Наступним кроком виконується тестування складових модулів, яке дозволяє виявити несправність одного з них до того, як виникне необхідність у його використанні. Модулі тестуються незалежно від того, наскільки кожен з них впливає на безпеку руху поїзда. Після даних операцій виконується обробка АЛС з подальшою індикацією коду .

Для цього перевіряється наявність коду АЛС. У роботі пропонується застосування розробленої багатозначної системи CDMA-АЛС. Її детальний опис наведено у розділі 3. Щодо перевірки коду АЛС, локомотивні котушки дублюються і можуть приймати як звичайні коди АЛСН, так і команди розробленої системи CDMA-АЛС. На рис.2.3 наведено загальний алгоритм обробки кодів АЛС, який має аналогічні етапи для обидвох систем АЛСН та CDMA-АЛС. Щодо системи CDMA-АЛС на рис.2.3 не показано алгоритм роботи системи, що стосується високошвидкісного руху поїздів.

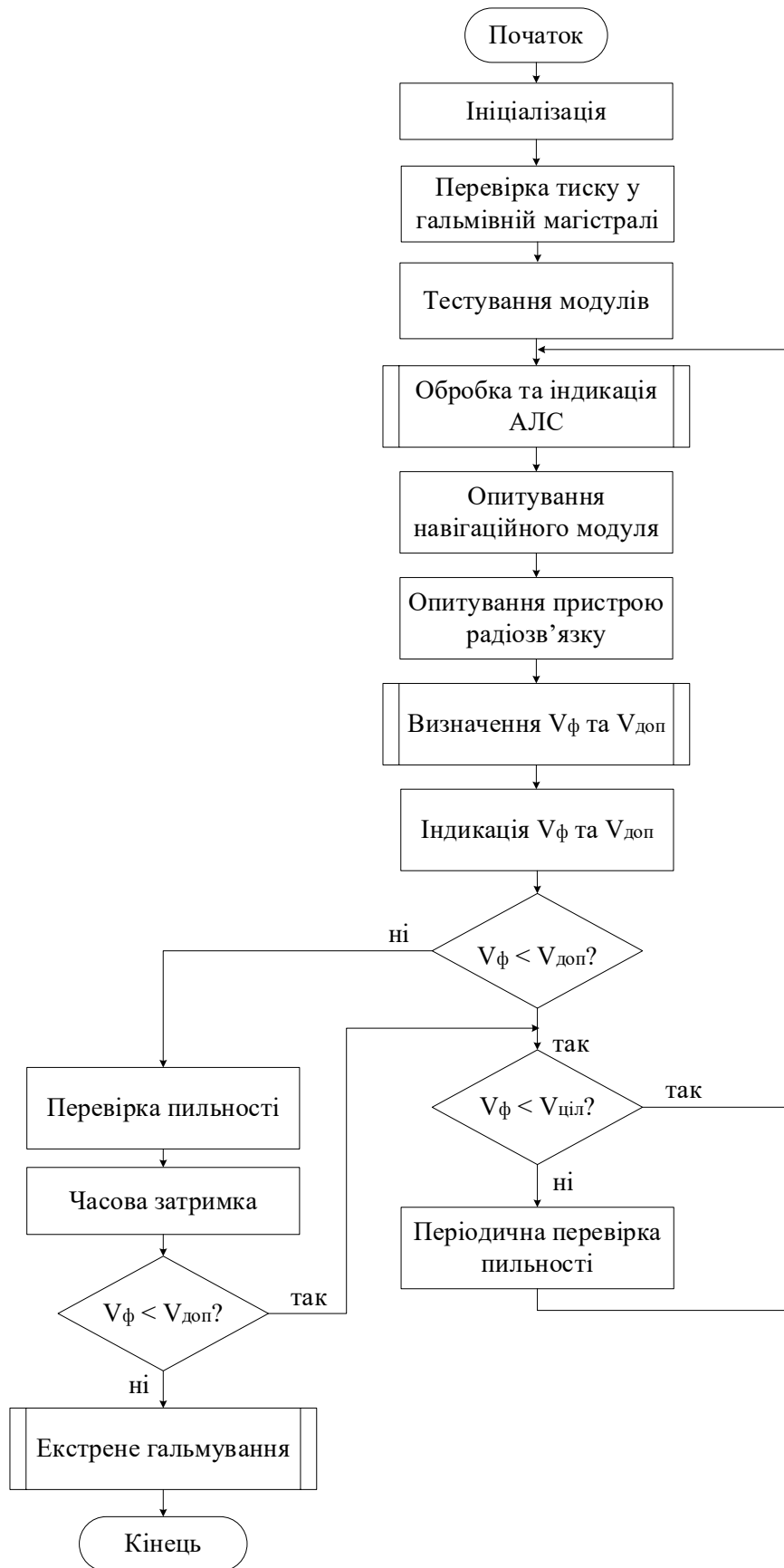


Рис. 2.2. Алгоритм роботи модуля центральної обробки локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

У разі, якщо код присутній та не є більш забороняючим, ніж попередній, він одразу ж відображається на індикаторі. Якщо ж код більш забороняючий, відбувається однократна перевірка пильності машиніста шляхом натискання РБ.

У випадку, якщо код АЛС відсутній, перевіряється, чи був попередній код КЖ як найбільш забороняючий. Наявність КЖ у якості попереднього коду розцінюється як займання зайнятої ділянки. У такому разі з періодичною перевіркою пильності машиніста і швидкістю руху менше 20 км/год локомотив може пересуватись з готовністю зупинитись. При перевищенні цієї швидкості однозначно відбувається екстрене гальмування. Якщо ж попередній код був не КЖ, це означає, що на даній ділянці відсутні коди і машиніст з періодичною перевіркою пильності може рухатись, керуючись показаннями колійних світлофорів.

Після визначення коду АЛС відбувається опитування навігаційного модуля. Це дає можливість визначити місцезнаходження поїзда та його швидкість руху. Подальше опитування радіозв'язку дозволяє дізнатись від диспетчера, чи є тимчасові обмеження або вказівки щодо руху на даній ділянці шляху.

Далі визначається допустима швидкість шляхом зчитування електронної карти $V_{доп}^{ЕК}$, опитування радіоканалу $V_{доп}^{РК}$ та АЛС $V_{доп}^{АЛС}$ (рис. 2.4). Спочатку за алгоритмом порівнюються $V_{доп}^{ЕК}$ та $V_{доп}^{РК}$. Таким чином, якщо існують обмеження руху по радіоканалу – за допустиму приймається швидкість з цими обмеженнями. Потім – порівняння зі швидкістю за АЛС. Логіка знаходження допустимої швидкості така ж – якщо $V_{доп}^{АЛС}$ виявиться меншою за отриману допустиму, вона і приймається за таку.

Для визначення фактичної швидкості використовуються два датчики руху і швидкості, які зчитують частоту обертів двох різних коліс на локомотиві. За фактичну приймається швидкість, яка виявляється вищою після порівняння.

Далі відбувається порівняння визначених фактичної і допустимої швидкостей. Якщо у цей момент фактична швидкість виявиться більшою за допустиму, виконається перевірка пильності машиніста з часовою затримкою на зниження швидкості. Якщо цього не відбулося, поїзд переходить до екстреного гальмування (рис. 2.5). Спочатку дається відлік часу на реагування машиніста, якщо натиснення рукоятки РБ не відбулося система видає звуковий сигнал для привернення уваги машиніста і дає до 6с на реагування і натиснення рукоятки РБС. Якщо натиснення відбулося, то рух локомотива продовжується і програма повертається на початок, якщо ні, тоді виконується екстрене гальмування і подія записується на касету реєстрації, а система повертається на початок.

При зниженні машиністом фактичної швидкості відбувається її порівняння з цільовою. У випадку, коли фактична швидкість поїзда буде більшою за цільову, рух відбувається з перевіркою пильності. У зворотному випадку знову виконується визначення кодів АЛС.



Рис. 2.3. Підпрограма обробки кодів АЛС локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

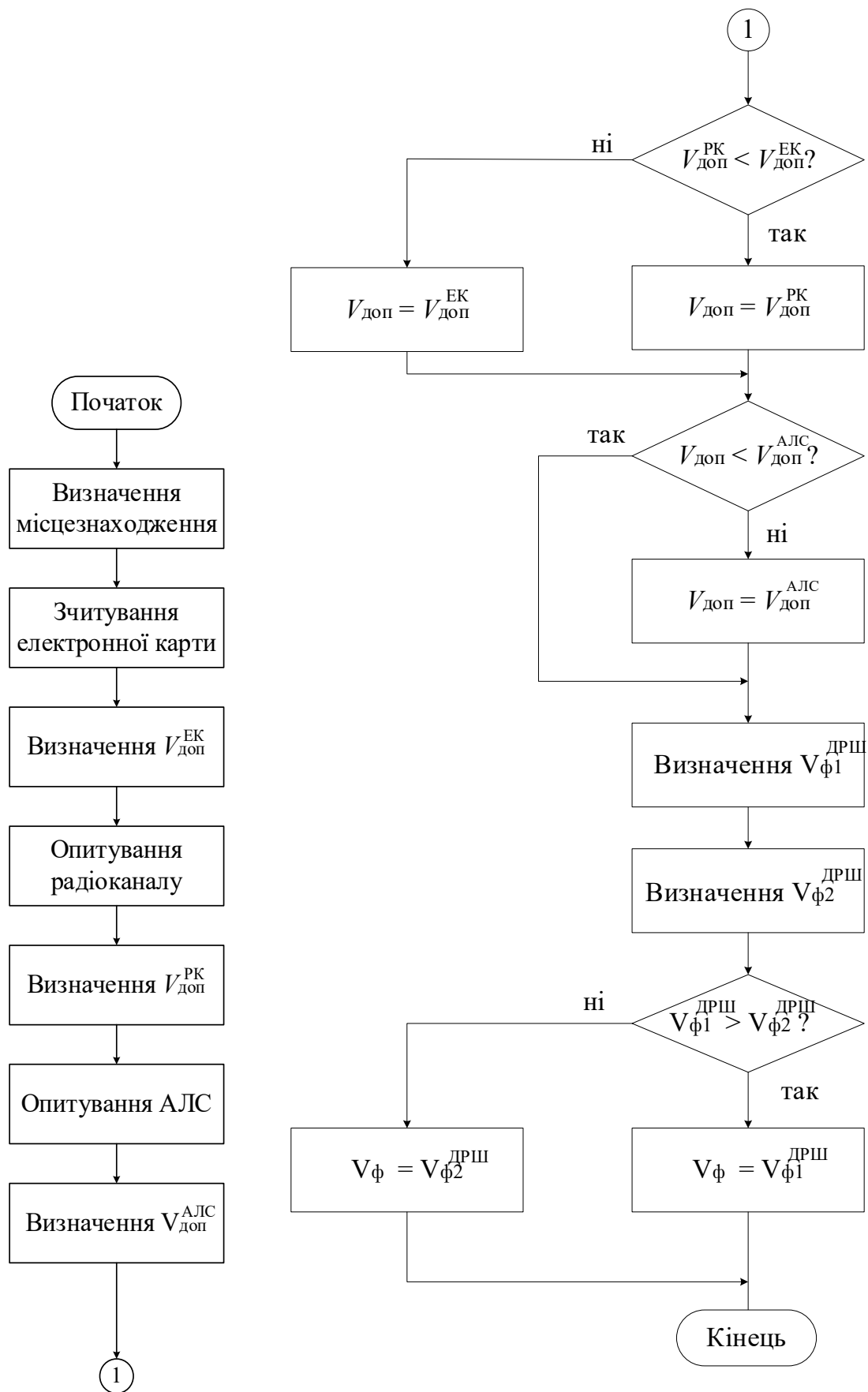


Рис. 2.4. Підпрограма визначення швидкостей локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда



Рис. 2.5. Підпрограма екстреного гальмування

2.3. Розробка модуля центральної обробки

Модуль центральної обробки (МЦО) є центральним вузлом у структурі локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда. МЦО сполучається з усіма периферійними вузлами через послідовний CAN-інтерфейс, окрім рукояток пильності РБ та РБС, а також ЕПК. Інформація від РБ та РБС поступає на МЦО напряму, а керування ЕПК виконується напряму від МЦО через певні елементи узгодження (рис. 2.6).

Елементи МЦО повністю дублюються, причому інформація поступає по двох каналах. Таким чином, існують два аналогічних канали, працюючих одночасно: один основний, а інший знаходиться у гарячому резерві. Таким чином при виході з ладу одного з комплектів схема залишатиметься працездатною. Один канал включає у себе вузли: дві CAN-мережі, два PIC-контролери, а також схему підключення РБ та РБС.

Усі рішення в цій схемі приймає мікроконтролер виробника Microchip із сім'ї PIC18, а саме 8-розрядний PIC18F26K80 (DD1, DD2) [29]. Має 28 виводів, вбудований CAN-інтерфейс, а також CAN-трансивер. Для синхронізації підключено кварцевий резонатор. Цифрові входи/виходи з'єднані зовнішнім CAN-трансивером та схемами підключення РБ та РБС. Опис виводів мікроконтролера приведено у Додатку А Табл. А.4.

Для забезпечення послідовної передачі інформації від периферійних вузлів на МЦО було використано CAN-трансивер TJF1051(DD3, DD4) від NXP - високошвидкісний CAN-трансивер, що забезпечує інтерфейс між контролером протоколу локальної мережі (CAN) і фізичною двопровідною шиною CAN [36]. TJF1051 відноситься до третього покоління високошвидкісних CAN-трансиверів від NXP. Напівпровідники, задіяні в ньому значно поліпшені в порівнянні з пристроями першого і другого покоління, такими як TJA1050. Опис виводів трансивера приведено у Додатку А Табл. А.5.

Оскільки кнопки РБ та РБС підключаються напряму без застосування CAN-інтерфейсу, були використані оптрони у якості гальванічної розв'язки.

Живлення, що надходить на них, є імпульсним – тестові послідовності, що формуються РІС-контролером. Для кожної кнопки окремі тестові імпульси. Таким чином, є можливість визначати натискання кнопок РБ та РБС за допомогою мікроконтролера у той час, як імпульси подаються з мікроконтролера, а живлення 50 В надходить з локомотива.

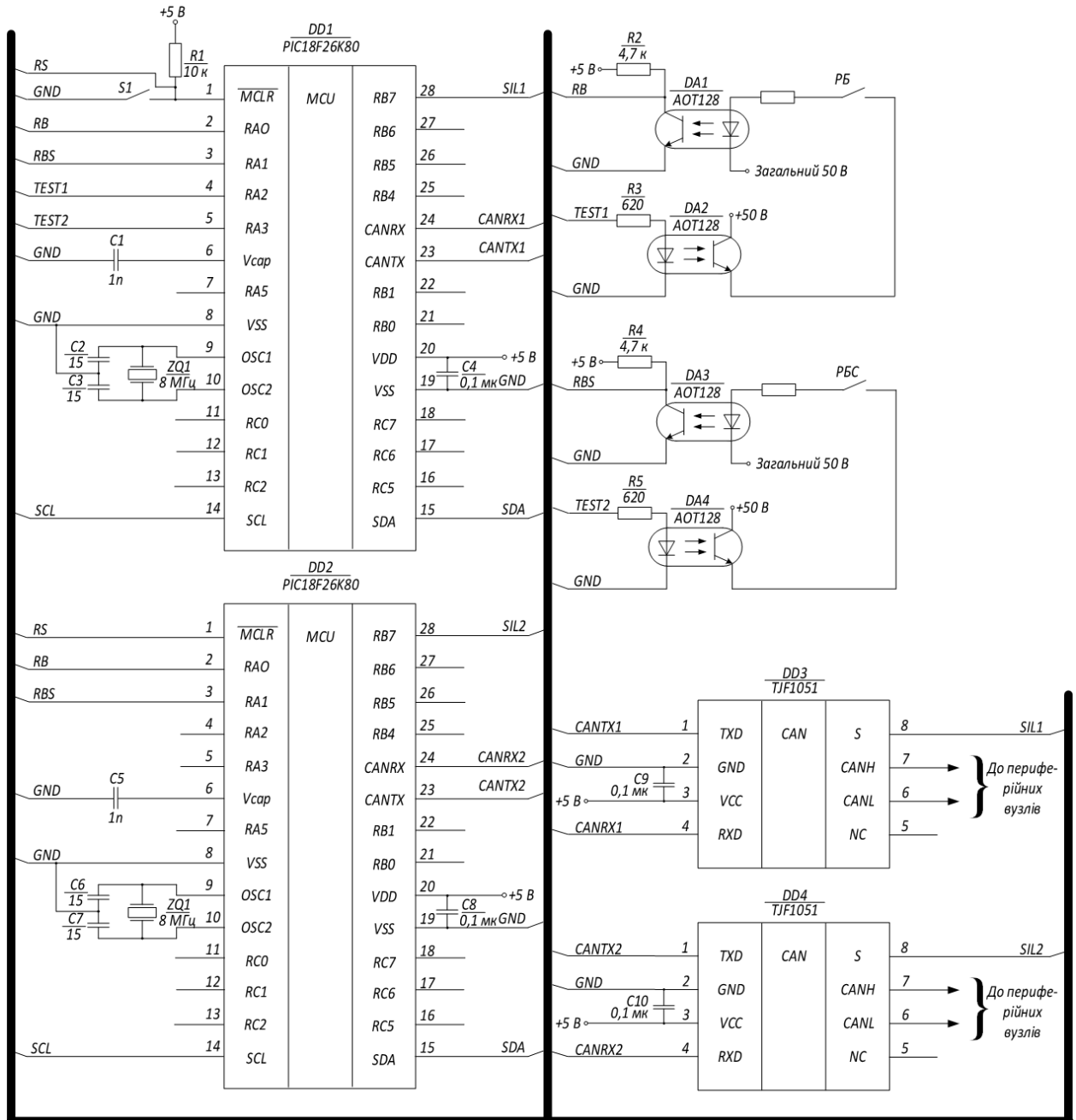


Рис. 2.6. Принципова схема МЦО локомотивного пристрою забезпечення безпеки поїзда

2.4. Розробка блоку вводу даних та індикації

Блок вводу даних складається з CAN-мережі, PIC-контролера, LCD-дисплея, матричної клавіатури та динаміка (рис 2.7).

Паралельно з розробкою блоку вводу даних та наступних вузлів за мету поставлена ціль - досягнути уніфікації складових вузлів. Адже при уніфікації підвищуються якість продукції, що випускається, її надійність і довговічність завдяки більш ретельному відпрацюванню технологічності конструкцій виробів і технології їх виготовлення. Уніфікація знижує номенклатуру запасних частин, спрощує і здешевлює ремонт машин і обладнання, покращує основні техніко-економічні показники заводів-виготовлювачів і експлуатаційних організацій [22]. Тому більшість мікросхем буде дублюватися.

Центральним вузлом блоку вводу даних є 8-розрядний PIC-контролер типу PIC18F26K80 (DD1) [29]. Його 28 виводів достатньо, аби задовольнити усі потреби, а саме зв'язок з МЦО по CAN-мережі, отримання інформації від матричної клавіатури і вивід її на рідкокристалічний дисплей.

З CAN-шиною мікроконтролер зв'язується за допомогою CAN-трансиверу типу T1F1051(DD2) від NXP, що виконує функції аналогічні тим, які були описані вище. Опис виводів трансивера приведено у Додатку А Табл. А.5.

Матрична клавіатура 4x4 має кнопки цифр від 0 до 9, «C» для стирання, «Enter» для вводу, стрілок «←», «→» для керування курсором, а також кнопок «□+» та «□-» для регулювання гучності динаміка, що виробляє звуковий сигнал при натисканні кнопок на клавіатурі. Це дозволить машиністу вводити усю необхідну передрейсову інформацію з урахуванням зручності розміщення відповідних кнопок. З виводів RC5 – RC7 та RB0 мікроконтролера подаються сигнали для опитування стовбців матричної клавіатури, а виводи RB4 – RB7 необхідні для опитування рядків. Кожний рядок опитується окремо і при натисканні відповідної кнопки до мікроконтролера надійде сигнал логічний 0. Діоди VD1 – VD4 захищають

виводи мікроконтролера від помилкового одночасного натискання машиністом двох кнопок.

В якості дисплея DD2 був узятий стандартний однорядковий символний індикатор типу JXD1601A виробництва компанії Goodview LCD на 16 символів в рядку, який підтримує кирилицю і має синій фон з білими символами[27]. Опис виводів дисплея приведено у Додатку А Табл. А.6. Дисплей виводить усю передрейсову інформацію, яку заносить машиніст.

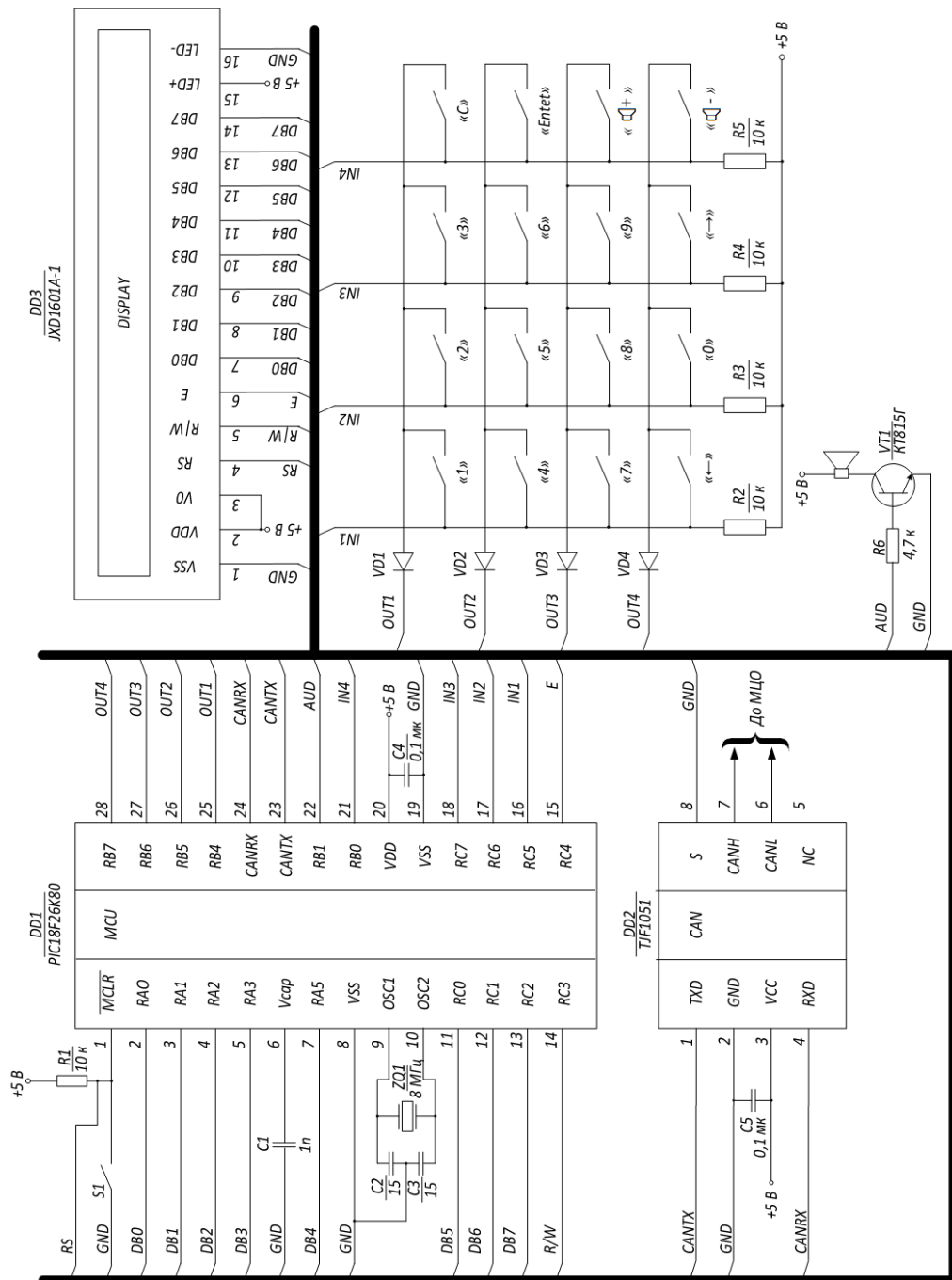


Рис. 2.7. Блок вводу даних локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

На відміну від блоку вводу даних блок індикації складається з таких вузлів: CAN-мережа, PIC-контролер, буфери, семисегментні індикатори, схеми підключення локомотивного світлофору, звукового сигналу, індикатору «Увага», а також ЕПК. Задля забезпечення високого рівня надійності схеми було використано дублювання схем CAN-мережі, PIC-контролера та буферів. Таким чином, один із комплектів є резервним (це мікросхеми DD2 типу PIC18F4680, DD3 - DD5 типу MC74HC541A та DD6 типу EOA1051), він знаходиться у Z-стані і вмикається МЦО у тому разі, якщо основний вийшов з ладу. Типи елементів із резервного комплекта є аналогічними, тому наступний опис є актуальним і для резервного комплекта.

CAN-трансивер типу TJF1051 такий самий як описано раніше [36]. Опис виводів трансивера приведено у Додатку А Табл. А.5.

PIC-контролер обрано типу PIC18F46K80 виробника Microchip на 40 виводів, що має вбудований CAN-інтерфейс, а також CAN-трансивер [29]. Для обміну інформацією з резервним комплектом використовується інтерфейс I2C. Для синхронізації підключено кварцевий резонатор. Цифрові входи/виходи з'єднані з буферами та зовнішнім CAN-трансивером. Опис виводів мікроконтролера приведено у Додатку А Табл. А.7. Мікроконтролер обробляє всі імпульси, що знаходяться від МЦО, і керує локомотивним світлофором залежно від розпізнаних колійних кодів АЛС; індикатором «Увага», який свідчить про подальшу необхідність зниження швидкості; звуковим попередженням у разі ненатискання машиністом рукоятки пильності, а також схемою включення ЕПК у разі вимушеного гальмування.

Буфер реалізовано у вигляді трьох мікросхем типу MC74HC541A виробника ON Semiconductor [28]. Одна така мікросхема є вісімковим неінвертуючим буфером зручність якої є в тому, що входи і виходи розташовані на протилежних сторонах корпусу. Опис виводів буфера приведено у Додатку А Табл. А.8.

Залежно від кодів АЛС PIC-контролер (DD1) посилає керуючі імпульси З1, К1, Ж1 та Б1 (через буфер DD9) на локомотивний світлофор, що представлений світлодіодами VD1 – VD4. Локомотивний світлофор побудований на потужних світлодіодах VD1 – VD4 типу 703-0148 червоного, жовтого, зеленого та білого кольорів. А поєднанням горіння червоного і жовтого діодів одночасно реалізується показання КЖ. Таким чином, на локомотивному світлофорі 5 показань: К, Ж, З, КЖ та Б. Транзистори VT1, VT2, VT3 та VT4 є підсилювачами струму. Аналогічним чином підключений індикатор «Увага», який сигналізує машиністу про необхідність зниження швидкості.

Окрім цього, мікроконтролер посилає керуючі імпульси на семисегментні індикатори DD10 та DD11 типу KL-5631G-BSG [33] та KL-4031-BSR [34] відповідно. DD10 представлений у вигляді індикатора зеленого кольору, що відображає інформацію машиністу про фактичну швидкість, а DD11 має червоний індикатор та несе інформацію про допустиму швидкість. Використовується динамічний спосіб керування: сигнали А1 – G1 (з мікроконтролера через буфер DD7) подаються на кожен елемент семисегментних індикаторів по черговому (за те, який саме елемент активний, відповідальні сигнали h1 – h6, які подаються з мікроконтролера через буфер DD8 на відповідні транзистори VT8, VT9, VT10, VT11, VT12 або VT13). Такий динамічний спосіб керування дозволяє значно економити виводи контролера.

Керування звуковою сигналізацією відбувається шляхом подання сигналу AUD1 (від мікроконтролера через буфер DD7) на динамік. Транзистори VT5 та VT6 використовуються задля підсилення струму.

ЕПК включається за безпечною схемою, яка побудована на твердотільному реле DA1, конденсаторах C4 та C5, а також діодах VD6 та VD7. Принцип цієї схеми полягає у тому, що ЕПК включиться тільки у тому разі, коли конденсатор C5 накопить достатньо енергії, щоб розрядитися на

ЕПК. Це виключає помилковий зрив ЕПК у разі виникнення завад необхідного рівня.

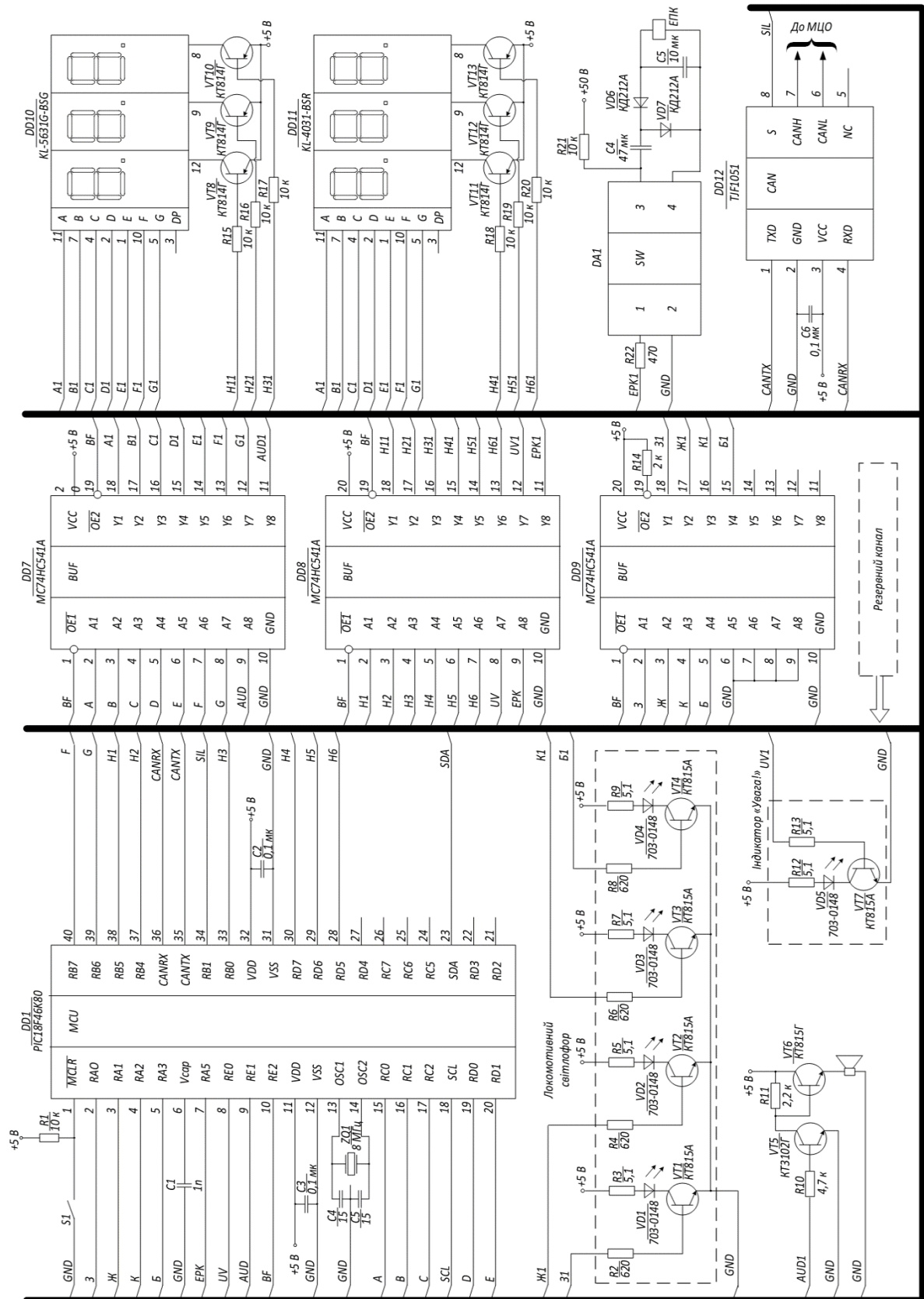


Рис. 2.8. Блок індикації локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда

2.5. Висновки по розділу 2

Задля підвищення загальної безпеки на залізниці як для пасажирів так і для працівників залізниці локомотив має бути оснащений комплексним пристроєм забезпечення безпеки. Такий пристрій включає в себе такі елементи як модуль центральної обробки (МЦО), рукоятки РБ та РБС, електропневматичний клапан (ЕПК), блок прийому сигналів АЛС та CDMA-АЛС, інформаційний модуль, навігаційний модуль, касету реєстрації та пристрій цифрового радіозв'язку. У цьому розділі були розроблені модуль центральної обробки (МЦО), блок вводу даних та блок індикації.

МЦО виконаний на сучасній елементній базі та працює за алгоритмом, який також було розроблено. Передбачено резервування «2 з 4», яке дозволяє значно зменшити можливість виникнення небезпечних відмов, що впливає на підвищення безпечного руху поїздів.

Модуль вводу даних дозволяє отримувати інформацію про поточний маршрут, завдяки вводу її машиністом. Для зручного вводу встановлена матрична клавіатура 4x4, що при натисканні кнопок супроводжується звуковим сигналом, а для перегляду введеної інформації – рідкокристалічний індикатор. Це дозволяє не тільки вводити, а й редагувати інформацію при необхідності.

Важливим вузлом локомотивного пристрою забезпечення безпеки руху поїзда є блок індикації, який включає у себе світлодіодний світлофор, індикатори фактичної та допустимої швидкостей, індикатор «Увага» і схему звукового сповіщення. Основні елементи керування дублюються, тому у разі виникнення несправності система перейде у захисний стан. Все це дозволяє машиністу ефективно отримувати інформацію про поточний стан на колії і виконувати необхідні дії із виконанням умов безпеки руху поїздів.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА БАГАТОЗНАЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

3.1. Вибір системи команд для багатозначної АЛС

На сьогоднішній день в Україні використовується система автоматичної локомотивної сигналізації безперервної дії з числовим кодуванням АЛСН, яка була розроблена ще в 40-х роках минулого століття та морально застаріла. Головним її недоліком є низька інформативність: в системі використовуються тільки три кодові сигнали, що дозволяє передавати на локомотив інформацію про вільність лише двох блок-ділянок попереду поїзда. З підвищенням швидкостей руху стає необхідністю:

- наявність інформації про вільність більше ніж двох блок-ділянок;
- запровадження постійних швидкісних обмежень, які пов'язані зі станом, профілем, радіусом кривизни та іншими особливостями ділянки колії;
- запровадження тимчасових швидкісних обмежень, які вводяться при проведенні різних колійних робіт;
- наявність інформації про зниження допустимої швидкості в залежності від маршруту руху по станції (прямо чи з відхиленням), врахування марки хрестовин стрілочних переводів;
- наявність градації швидкості для зеленого коду.

Врахувавши все це ми пропонуємо нову багатозначну систему АЛС, що володіє значно більшою інформативністю, в порівнянні з класичною АЛСН. Команди системи, вони ж є сигналами, позначимо умовними числами, причому сигналу, який несе інформацію про більш високу швидкість руху, відповідає більш високий порядковий номер числа. Оскільки пасажирські та вантажні поїзди мають різні гальмівні характеристики (рис. 3.1), взяті під контроль швидкості цих категорій поїздів будуть відрізнятися. Локомотивні приймально-дешифруючі пристрої вантажних і пасажирських поїздів реагуватимуть по-різному на одні і ті ж електричні

сигнали, що посилаються в рейки для передачі поїзду інформації про стан шляху. Команди, які матиме система, наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Система команд багатозначної АЛС

Номер команди	Показання локомотивного світлофора	Контрольована швидкість			Примітка
		Вантажний поїзд	Пасажирський поїзд	Високошвидкісний поїзд	
блок-ділянка зайнята	червоний	0	0	0	
1	червоний з жовтим	0	0	0	
2	жовтий	25	25	25	рух з відхиленням, хрестовина 1/9
3	жовтий	50	50	50	рух з відхиленням, хрестовина 1/11
4	жовтий	50	80	80	
5	жовтий	80	80	80	рух з відхиленням, хрестовина 1/18
6	жовтий	80	120	120	
7	жовтий	90	120	120	рух з відхиленням, хрестовина 1/22
8	жовтий	90	140	140	
9	зелений	90	140	140	
10	зелений	90	160	160	
11	зелений	90	160	180	
12	зелений	90	160	200	
13	зелений	90	160	220	
14	зелений	90	160	250	
15	резерв				
16	резерв				
сигнали АЛС відсутні	білий	Зниження швидкості до безпечної	Зниження швидкості до безпечної	Зниження швидкості до безпечної	

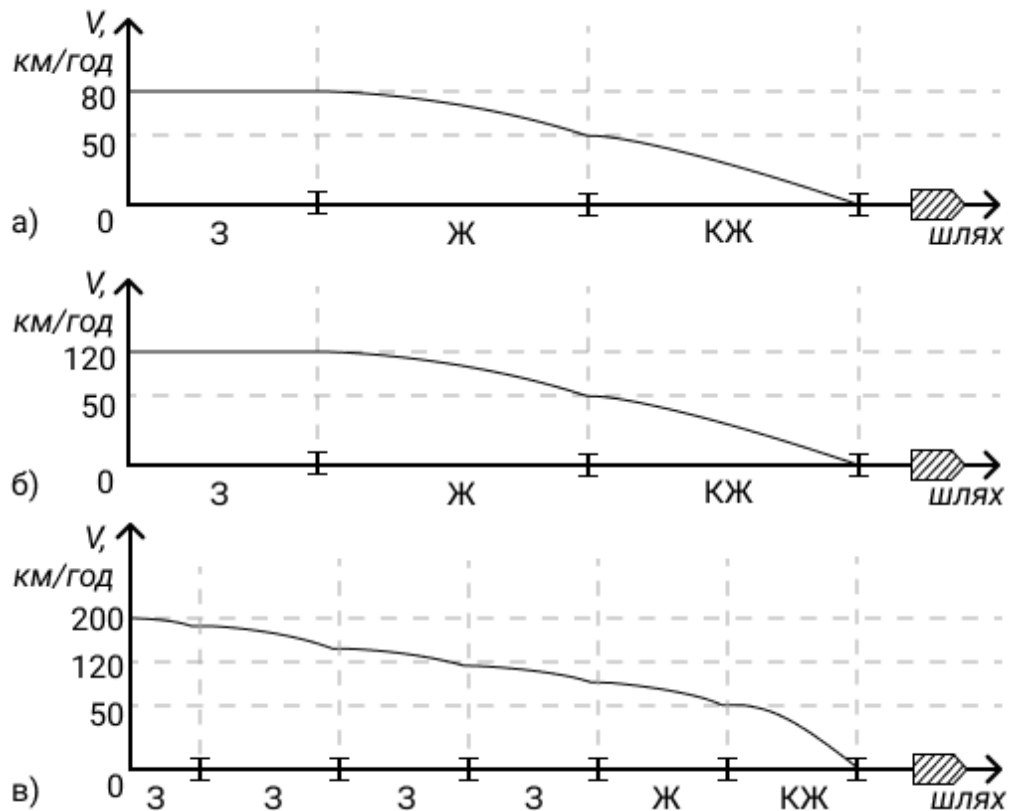


Рис. 3.1. Гальмівні характеристики потягу: а) вантажного; б) пасажирського; в) швидкісного

В усіх випадках зелений вогонь локомотивного світлофора вказує на можливість руху поїзда зі встановленою швидкістю; попереду вільно не менше 2 блок-ділянок при тризначному і не менше трьох при чотиризначному автоблокуванні. Жовтий вогонь вказує на можливість руху зі зниженням швидкості до контрольованої, що вказана на індикаторі швидкості; попереду вільно не менше однієї блок-ділянки або поїзд наближується до відкритого колійного світлофора, що вказує на прослідкування з відхиленням по стрілочному переводу. Жовтий вогонь з червоним з'являється при наближенні до колійного світлофора з червоним вогнем і вимагає зупинки поїзда, не проїжджаючи колійного світлофора. Червоний вогонь з'являється в разі проїзду колійного світлофора з червоним вогнем. Білий вогонь локомотивного світлофора сигналізує, що локомотивні пристрої увімкнені, але сигнали з колії не приймаються. Білий вогонь, як правило, з'являється після припинення прийому сигналу АЛС [6].

Визначення команд системи АЛС або сигналів наведено на рис.3.2. При тризначному автоблокуванні в межах перегону застосовуються три сигнали АЛС: 1, 6 та 9 (рис.3.1. а), а при чотиризначному автоблокуванні – чотири: 1, 4, 6 та 9 (рис.3.1. б). При цьому три сигнали являються загальними, а четвертий сигнал 4, що посиляється від світлофора з жовтим вогнем при чотиризначному автоблокуванні, дозволяє рух зі швидкістю не більше 50 км/год для вантажного поїзда і не більше 80 км/год для пасажирського. Ці відносно низькі швидкості обумовлені укороченими довжинами блок-ділянок при чотиризначному автоблокуванні. Чотири кодові сигнали 2, 3, 5 та 7 застосовуються для передачі інформації про встановлену швидкість руху при установці маршруту приймання на бокову колію з відхиленням по стрілочних переводах з хрестовинами різних марок (рис.3.2. в, г, д, е). Ці сигнали несуть однакову інформацію про встановлену швидкість руху як для вантажних, так і для пасажирських поїздів з огляду на те, що величина цієї швидкості обумовлюється не довжиною гальмівного шляху, а маркою хрестовини стрілок, за якими здійснюється рух (не більше 25, 50, 80 і 90 км/год відповідно для хрестовин марок 1/9, 1/11, 1/18 і 1/22). При русі по головних коліях станцій застосовуються ті самі сигнали АЛС, що на перегонах [6].

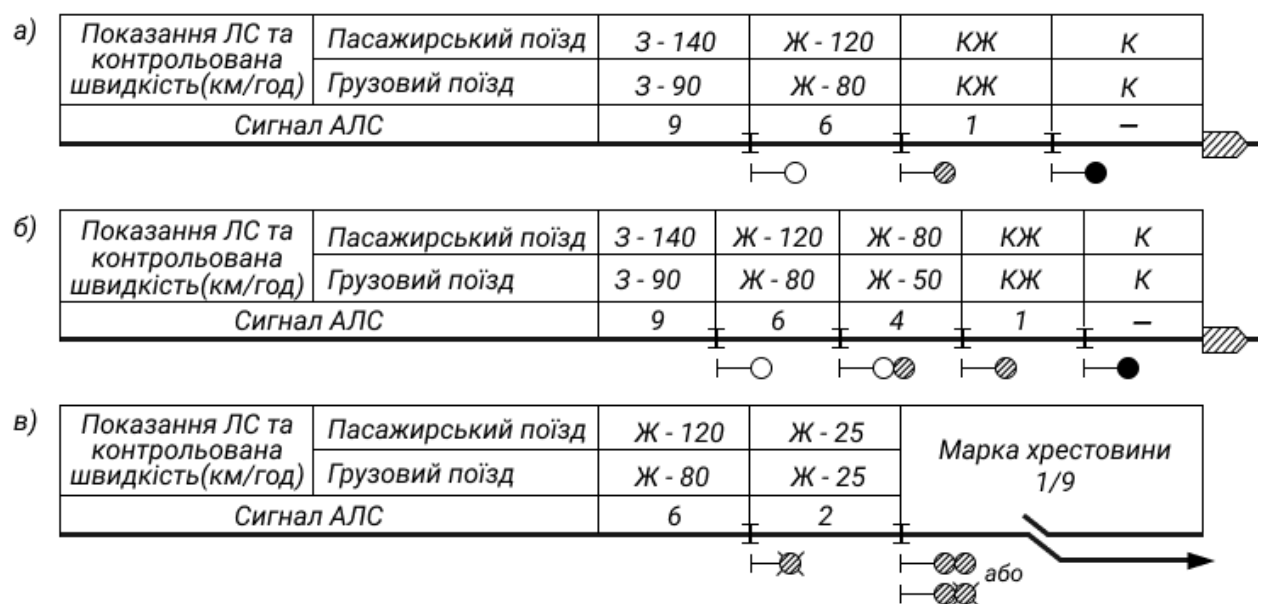


Рис. 3.2. Визначення сигналів в системі АЛС

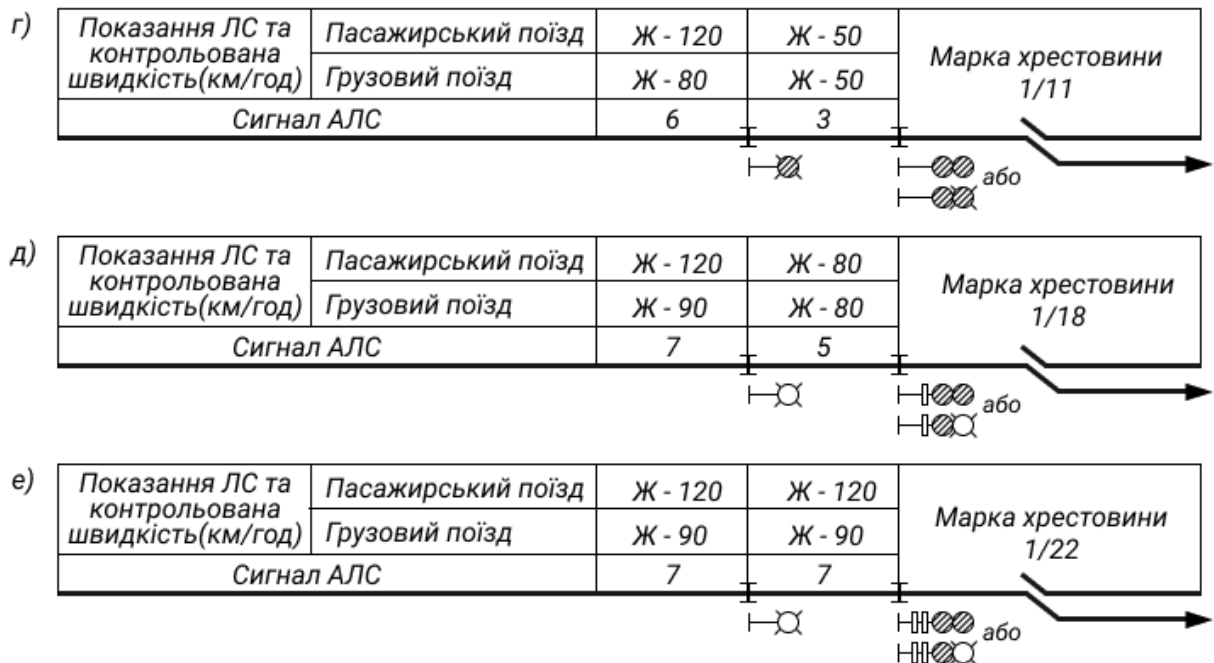


Рис. 3.2. Визначення сигналів в системі АЛС (продовження): а) тризначне АБ; б) чотиризначне АБ; в) рух на бокову колію марки хрестовини 1/9; г) рух на бокову колію марки хрестовини 1/11; д) рух на бокову колію марки хрестовини 1/18; е) рух на бокову колію марки хрестовини 1/22

Для організації високошвидкісного руху поїздів, у зв'язку зі збільшеною довжиною гальмівних шляхів, застосовуються додаткові сигнали АЛС, що несуть інформацію про більш високі швидкості руху. Крім того, при високих швидкостях необхідно передавати інформацію про встановлену швидкості не тільки при зближенні поїздів, а й про встановлену швидкість руху в залежності від стану колії (постійні швидкісні обмеження). При цьому в місцях постійних обмежень швидкості гальмування здійснюється з меншою інтенсивністю в порівнянні з тією, яка застосовується при гальмуванні перед заборонним сигналом [6].

Для передачі додаткової інформації для високошвидкісних поїздів в системі АЛС передбачені сигнали 10, 11, 12, 13, 14 що застосовуються для передачі сигналів про встановлену швидкість 160, 180, 200, 220 і 250 км/год (на рис.3.2 ці сигнали не показані).

Окрім перерахованих сигналів в системі АЛС передбачені резервні сигнали для надання системі потенційних можливостей подальшого розширення обсягу інформації при її вдосконаленні в разі розвитку техніки інших галузей залізничного транспорту [6]. Наприклад, при широкому впровадженні централізованого автоблокування без прохідних світлофорів (ЦАБ) з організацією руху за сигналами АЛС передбачається застосування попереджувального сигналу про подальше зниження швидкості на наступній блок-ділянці (рис. 3.3).

Показання ЛС та контрольована швидкість(км/год)	Пасажирський поїзд	З - 140	Ж - 140	Ж - 120	Ж - 80	КЖ	К
	Грузовий поїзд	З - 90	Ж - 90	Ж - 80	Ж - 50	КЖ	К
Сигнал АЛС		9	8	6	4	1	—

Рис. 3.3. Розподіл сигналів АЛС на лініях з ЦАБ

В такому випадку крім чотирьох сигналів 1, 4, 6 і 9, що застосовуються на лініях з чотиризначним автоблокуванням, додатково використовується сигнал 8, що має інформацію про ту ж швидкість руху, що і сигнал 9, але при жовтому вогні світлофора, що вказує на можливість руху на даній блок-ділянці з максимально встановленою швидкістю, а на наступній блок-ділянці - зі зниженням швидкості. Наявність попереджувального сигналу в системі АЛС дозволяє завчасно попередити машиніста про необхідність подальшого зниження швидкості на наступній блок-ділянці. Це по суті рівноцінно видимості сигналу колійного світлофора на відстані всієї блок-ділянки [6].

Також передбачені резервні сигнали 15 та 16, які можуть застосовуватися для передачі додаткової інформації, якщо в цьому буде необхідність при конкретних умовах експлуатації лінії.

3.2. Аналіз спектрального складу завад в рейковій лінії

Відомо, що в рейковій лінії частотний діапазон сигналів, які передаються по лінії, розташовується між 25 Гц та 5 555 Гц. Це як сигнальні струми кодової АЛС, сигнали тональних рейкових кіл, тяговий струм, але і різноманітні завади, що в найгіршому випадку можуть привести до

створення небезпечної відмови. Загальний спектральний склад сигналів у рейковій лінії наведено на рис. 3.4.

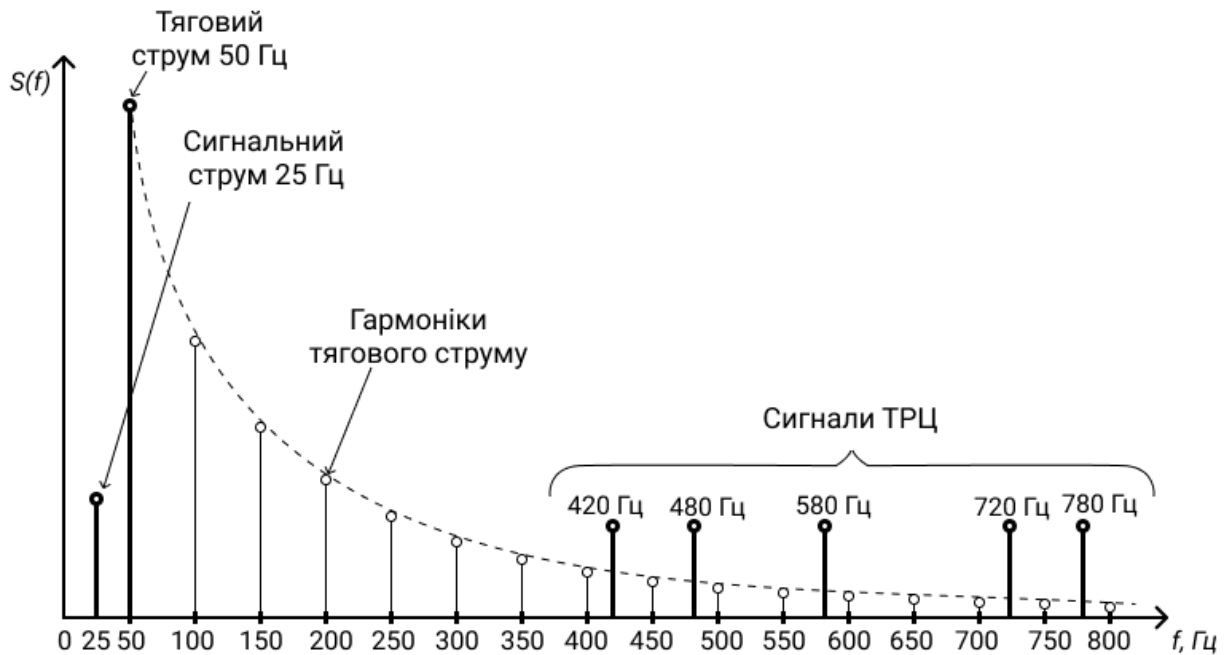


Рис. 3.4. Спектральний склад сигналів рейкової лінії

Рейкова лінія піддається постійному впливу перешкод. Насамперед, на роботу рейкових кіл і системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) є дія з боку тягового електропостачання. При тяговому струмі частотою 50 Гц електромагнітними завадами є гармоніки цього струму. Гармонійний склад тягового струму зазвичай відомий або в результаті теоретичних, або експериментальних досліджень. Якщо невеликі перешкоди можуть прибрати згладжуючі фільтри, то вищі гармоніки струму є небезпечними потужними імпульсними завадами. До них приділяється особлива увага, тому що вони можуть призвести до: збільшення струмів і напруг вищих гармонік внаслідок паралельного і послідовного резонансів; зниження ефективності процесів генерації, передачі, використання електроенергії; старіння ізоляції електрообладнання та скорочення внаслідок цього терміну його служби; помилкової роботи обладнання [8].

Задля боротьби із заважаючою дією гармонік тягового струму усі традиційні системи АЛС застосовують вузькосмугові фільтри для зменшення

дії гармонік на корисний сигнал. Враховуючи це, та амплітудно-частотні характеристики фільтра, ширина спектра сигналу АЛС обирається вужчою, ніж діапазон частот між гармоніками тягового струму. Розглянемо на прикладі спектру сигналу системи АЛС-ЕН рис.3.5:

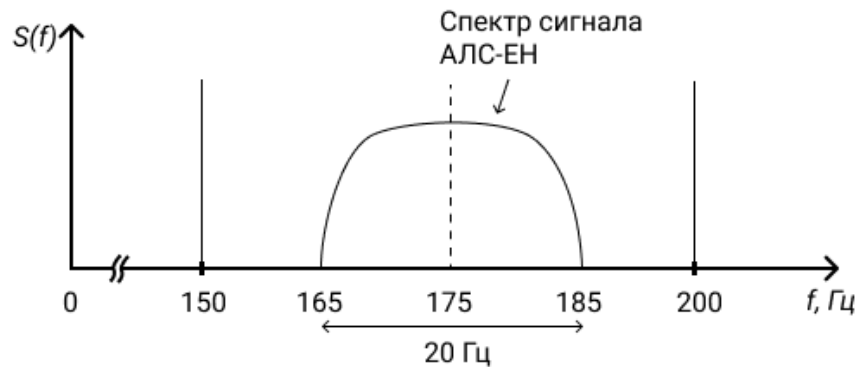


Рис. 3.5. Спектр сигналу АЛС-ЕН

У передавачі системи АЛС-ЕН застосовується несучий сигнал частотою 175 Гц з двохкратною диференційною фазовою маніпуляцією. Гармоніки тягового струму присутні на частотах 150 та 200 Гц. Таким чином максимально можлива ширина спектру АЛС 20....25 Гц, адже при більшій ширині спектру корисний сигнал перекриється боковими пелюстками гармонійних частот, що призведе до збільшення імовірності помилки.

Таким чином, збільшення обсягу переданої інформації та швидкості її передачі обмежується вузьким спектром частот, які можна задіяти. Через це постає актуальна проблема — задля збільшення швидкості передачі інформації та її об'єму необхідний ширший спектр і нова технологія передачі інформації.

3.3. Застосування широкосмугових шумоподібних сигналів для передачі команд багатозначної АЛС

В рамках даної роботи пропонується використовувати в системі АЛС передачу широкосмугових шумоподібних сигналів по рейковій лінії з використанням технології CDMA, що використовується зокрема в системах мобільного зв'язку третього покоління 3G, в системах супутникового зв'язку та супутникової навігації [9]. Така система є новаторською, тому

пропонується для неї назва CDMA-АЛС. Згідно із технологією CDMA (Code Division Multiple Access – множинний доступ з кодовим розділенням каналів) до інформаційного сигналу кожного користувача додається шумоподібний сигнал (псевдовипадкова кодова комбінація) [25]. Ці кодові послідовності складаються з N елементарних символів (чипів). Кожен інформаційний символ сигналу складається з однієї N -символьної послідовності, яка називається «розширюючою» (spreading sequence), оскільки «результуючий» сигнал випромінюється в канал з навмисно розширеним спектром. Розширення спектру регулюється за допомогою коефіцієнта розширення спектра K_{pc} :

$$K_{pc} = \frac{R_{ch}}{R} \quad (3.1)$$

де R – швидкість вихідного сигналу (інформаційна швидкість, біт/с); R_{ch} – чіпова швидкість (швидкість після розширення спектру, симв/с).

Для кожної пари приймач-передавач призначений весь частотний спектр і весь час завдяки використанню спеціальних псевдовипадкових кодових комбінацій для ідентифікації з'єднань. Такі комбінації виконують роль своєрідного маркування сигналу. Як результат, канал через роботу декількох передавачів стає ще більше шумоподібним [25].

Розглянемо окремо роботу кожного вузла при передачі повідомлення. Передавач (рис.3.6) до корисного сигналу за допомогою логічної операції XOR додає присвоєний конкретному користувачу в даний момент окремий числовий код, таким чином модулює унікальний сигнал та передає його у канал.

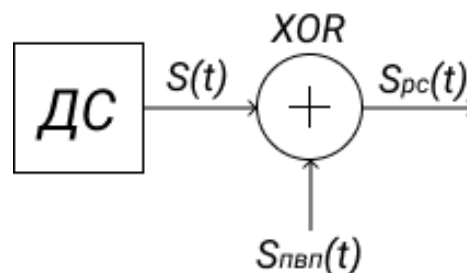


Рис. 3.6. Кодування повідомлення на передаючій стороні,

де ДС – джерело сигналу, $S(t)$ –повідомлення, яке необхідно передати; $S_{пвп}(t)$ – псевдовипадкова послідовність; $S_{pc}(t)$ – шумоподібний розширений по спектру сигнал.

Оскільки при такій технології використовується вся ширина каналу, сигнал передається в загальний діапазон частот і з нього ж приймається. На вхід приймача поступає шумоподібний сигнал (рис.3.7), за допомогою логічної операції XOR відбувається відокремлення із загальної маси сигналів повідомлення, яке призначене саме цьому приймачу, адже він налаштований саме на той код, який йому передається.

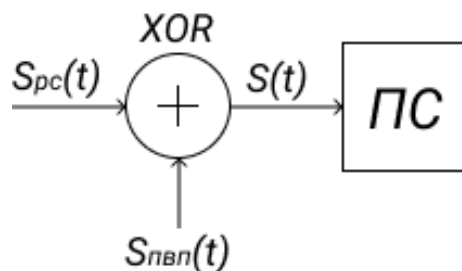


Рис. 3.7. Декодування сигналу на приймаючій стороні, де ПС – приймач сигналу, $S_{pc}(t)$ – шумоподібний розширений по спектру сигнал, $S_{пвп}(t)$ – псевдовипадкова послідовність, $S(t)$ –повідомлення, яке передавали;

Слід зауважити, що широкосмугові канали прийому-передачі розташовані на різних діапазонах частот, а отже, вони один одному не заважають. Це пояснюється тим, що чим сильніше «розтягнутий» спектр сигналу в каналі, тим менше його спектральна щільність. Завдяки цій властивості сигнали з великою базою можуть розташовуватися в «чужій» (вже зайнятій) смузі частот «на вторинній основі», при цьому взагалі не заважаючи працюючій там системі. Таким чином через різні коди модуляції повідомлення із шумоподібного каналу все одно ідентифікуються тими приймачами, яким ці повідомлення призначалися.

Якщо тригонометрична система функцій здавна широко використовується для подання аналогових сигналів, то для подання цифрових сигналів і їх аналізу більш зручна, в силу своїх властивостей,

система функцій Уолша [4]. Кожна функція системи Уолша кусочно-постійна і приймає на проміжках сталості значення +1 або -1. Це одна з повних ортонормованих систем функцій, широко використовуваних в теорії функцій дійсної змінної. Коди Уолша формуються із матриці Адамара, кожен рядок якої є унікальним кодом Уолша (Додаток Г), що відрізняється гарною завадостійкістю в якості псевдовипадкових кодів та сприяє зменшенню взаємних міжканальних спотворень.

До переваг технології CDMA відносяться [21]:

- Висока спектральна ефективність. Задіяний весь спектр для передачі повідомлення, а отже і швидкість передачі значно збільшується.
- Забезпечення конфіденційності даних. Висока захищеність обумовлена тим, що без знання коду потрібного каналу виділити його вкрай важко.
- Висока гнучкість системи. При поділі за допомогою технології CDMA число каналів строго не обмежено. І незважаючи на те, що чим більше число повідомлень, тим вище ймовірність появи помилок декодування, це може вести до зниження якості каналу, але без відмови обладнання при цьому.
- Висока захищеність від впливу зосереджених за спектром завад. Енергія шумоподібного сигналу розподіляється в широкій смузі частот і вузькосмугові, навіть дуже потужні завади на нього суттєво не впливають.
- Економічна привабливість. З використанням такої технології відпадає необхідність у додаткових фільтрах проти електромагнітних завад, адже такі завади не несуть загрози.

З урахуванням вищесказаного щодо технології CDMA в роботі пропонується багатозначна система CDMA-АЛС, що буде передавати по рейковій лінії широкосмугові шумоподібні сигнали, з наступними параметрами: частотна полоса – 155...395 Гц (рис.3.8), псевдовипадкові коди – 16-ти бітні коди Уолша, коефіцієнт розширення спектра – 16, ширина

спектру вихідного сигналу – 15 Гц, модуляція несучої – DBPSK (диференційна двопозиційна фазова маніпуляція), інформаційна швидкість V_i – 15 біт/с, довжина кодової комбінації L_k – 4 біта, максимальне число команд – 256.

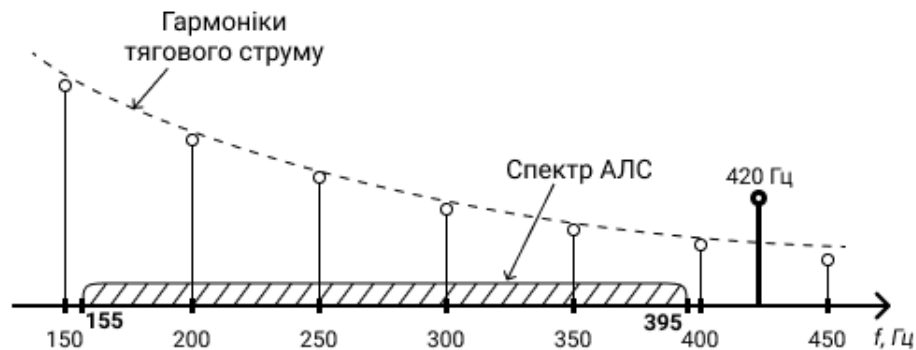


Рис. 3.8. Спектр сигналу CDMA-АЛС

При таких параметрах час передачі однієї команди t_k визначається по формулі:

$$t_k = \frac{L_k}{V_i} \quad (3.2)$$

Звідси час передачі однієї команди складає 0,27 с, що дозволяє використовувати таку систему на швидкісних і високошвидкісних ділянках. Для порівняння звичайна кодова АЛСН має затримку в часі 4,8 с, а система АЛС-ЕН 0,8 с.

Кожній команді CDMA-АЛС надаються дві селективні ознаки – унікальний код Уолша для даного каналу та чотирьох-бітна кодова комбінація. Це забезпечує високу завадостійкість системи. Так як енергія сигналів АЛС розподіляється в широкій смузі частот, то гармоніки тягового струму (вузькосмугові завади) не повинні суттєво впливати на роботу системи. Для додаткового захисту від гармонік тягового струму в приймачі сигналів АЛС можна використовувати режекторні фільтри. У разі використання тільки однієї дозволеної кодової комбінації в кожному каналі така система дозволяє передавати 16 команд CDMA-АЛС. Збільшення кількості дозволених комбінацій дозволяє отримати більшу кількість команд.

При цьому для забезпечення високої завадостійкості необхідно також збільшувати довжину кодових комбінацій.

3.4. Структура та принцип дії генератора та приймача сигналів CDMA-АЛС

Структура генератора сигналів CDMA-АЛС представлена на рис.3.9.

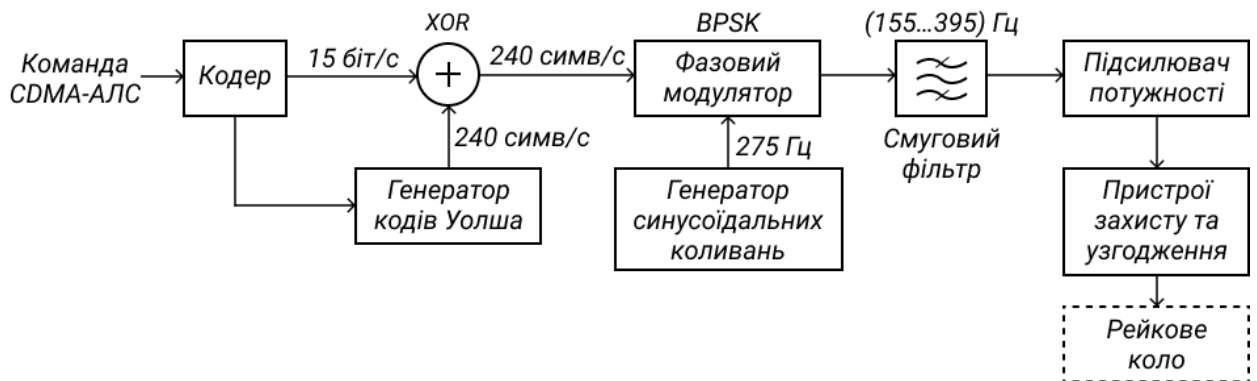


Рис. 3.9. Функціональна схема генератора сигналів CDMA-АЛС

Згідно рис.3.9 команда CDMA-АЛС поступає на кодер, на виході з якого маємо 4-х бітну комбінацію, що відповідає команді CDMA-АЛС, з інформаційною швидкістю 15 біт/с. Такий сигнал має вузький спектр та дотримуючись технології CDMA проводиться розширення спектру [25]. До корисного сигналу за допомогою логічної операції XOR додається присвоєний конкретному користувачу в даний момент окремий 16-бітний числовий код Уолша, таким чином модулюється унікальний сигнал, що має чіпову швидкість 240 симв/с та розширений спектр. Наступним кроком сигнал потрапляє на фазовий модулятор та піддається диференційній двопозиційній фазовій маніпуляції (DBPSK). Обрано саме такий вид модуляції, оскільки він має високу завадостійкість за рахунок зміни фази, а також запобігає виникненню випадкової помилки в одному символі, що не потягне подальший ланцюжок помилок [19]. Фаза несучого коливання 275 Гц змінюється прямо пропорційно інформаційному сигналу, при чому, оскільки модуляція є бінарною, інформаційній одиниці відповідає фаза 0, а нулю – фаза π . Далі закодований синусоїдальний сигнал потрапляє на смуговий фільтр, що пропускає лише діапазон частот, який відповідає системі CDMA-

АЛС, а саме частоти (155...395) Гц. Після підсилювання потужності та пристроїв захисту та узгодження сигнал подається у рейкове коло.

Далі відбувається обробка сигналу на приймальній стороні, схема приймача представлена на рис.3.10.

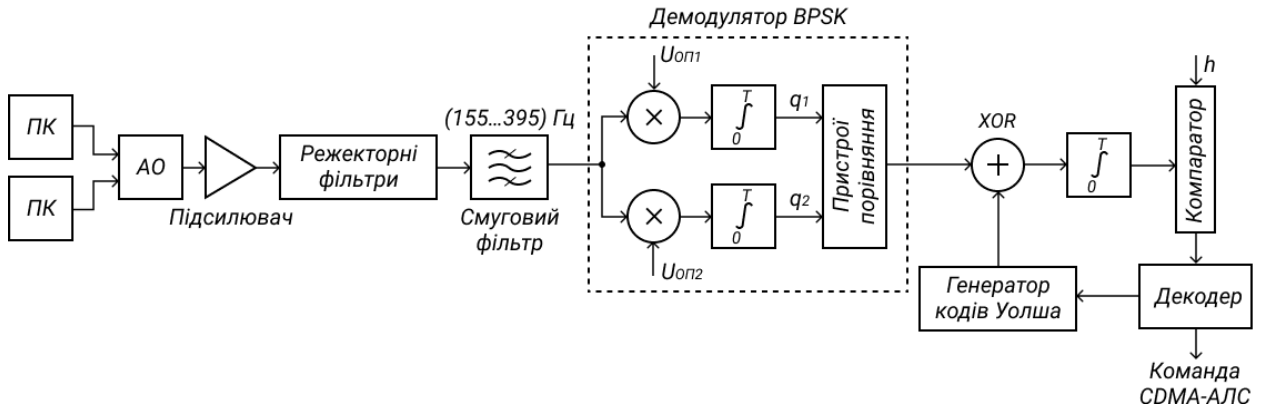


Рис. 3.10. Функціональна схема приймача сигналів CDMA-АЛС

Сигнал CDMA-АЛС зчитується з рейкової лінії приймальними котушками локомотива та потрапляє на амплітудний обмежувач (АО), завдання якого «зрізати» амплітуду сигналу до порогового рівня. Оскільки корисний сигнал за рахунок широкого спектру має низьку амплітуду, а завади мають імпульсний характер та значну потужність, усе що вище порогового рівня є саме заважаючими складовими. Імовірність зрізати корисний сигнал є нульовою, адже пороговий рівень амплітудного обмежувача має обиратися після тестування розроблених вузлів. У даній роботі приведена лише концепція пристрою, тому пороговий рівень не має конкретного значення.

Далі сигнал підсилюється та при необхідності потрапляє під дію режекторних фільтрів. Вони «вирізають» ділянки сигналу на яких розташовуються гармоніки тягового струму, а саме частоти 200, 250, 300 та 350 Гц. Такі дії не призведуть до загублення корисного сигналу, адже корисний сигнал згідно технології CDMA має широкий спектр, тобто корисна інформація не концентрується в одній точці, а ніби «розмазується» по всьому діапазону (155...395) Гц. В цій властивості і є перевага технології CDMA перед існуючими методами передачі АЛС сигналів [25]. Завдяки

цьому навіть втрата частини інформації не призведе до помилок. Хоч таких фільтрів і багато, але вони не впливають на апаратну частину пристрою, адже являються цифровими, тому питання економічної не вигідності тут не постає. Також можна не використовувати режекторні фільтри взагалі, адже навіть без них сигнал із завадами приймається без помилок, що буде доведено у п.3.5.

Наступним кроком є застосування смугового фільтру, який відсіє непотрібні частоти та пропустить лише той діапазон, на який налаштована система CDMA-АЛС, а саме частоти (155...395) Гц.

Таким чином отриманий сигнал, попередньо підготовлений до розшифрування, надходить до демодулятора, який має наступний алгоритм роботи. Сигнал за допомогою операції «множення» множиться на опорний синусоїдний сигнал частотою 275 Гц з протилежними фазами, а далі інтегрується. Оскільки модуляція застосовувалась диференційна, то система оцінює відмінності отриманого сигналу від опорних сигналів і таким чином пристроєм порівняння відбувається виявлення фази кожного елементу коду, які було надіслано генератором.

Останнім кроком є кореляційний прийом, який базується на визначенні задіяного кода Уолша для декодування за допомогою підбору. Після декодера 16-бітний код поступає на логічний елемент XOR, який додає по модулю два кожному комбінацію кода Уолша, інтегрується та аналізується до тих пір, поки система не виявить той самий. Результат на виході інтегратора матиме вигляд сходинок, які свідчать про схожість прийнятого сигналу на той, що має прийти. Пороговим рівнем для таких сходинок обрано число 8, адже при 16-бітному коді це є середина. Саме аналізуючи положення цих сходинок до порогового рівня, вище вони від межі або нижче, і робиться результат щодо прийнятої команди, а саме 4-х бітів зі значенням 0 або 1.

Наочне представлення результатів моделювання такої системи приведено у наступному пункті.

3.5. Результати імітаційного моделювання багатозначної CDMA-АЛС

У п.3.4 було описано вузли генератора та приймача кодів CDMA-АЛС, а також описано принцип дії усього ланцюга передачі кодів. Задля того, щоб реалізувати модель такої системи, було використано пакет Matlab. Текст програми приведено у Додатку Б.

Припустимо, що необхідно передати команду, яка представлена у вигляді 4-х біт, а саме 1010. На вхід кодера поступає комбінація як на рис.3.11.а. Наступний крок це збільшення спектру аби сигнал відповідав технології CDMA. До 4-х бітної комбінації за допомогою логічної операції XOR додається присвоєний конкретному користувачу в даний момент окремий 16-бітний числовий код Уолша і сигнал матиме вигляд як на рис 3.11.б. Далі виконується DBPSK модуляція і сигнал видозмінюється як на рис. 3.11.в. Саме такого виду сигнал надсилається у рейкову лінію.

В цьому випадку ми моделюємо ідеальний варіант, коли завади відсутні і з рейкової лінії сигнал, який зчитали приймальні котушки, матиме вигляд як на рис. 3.11.в. Далі сигнал демодулюється, та починає по черговому додаватися з різними кодами Уолша, результати додавання відстежуються на виході інтегратора рис. 3.11.г. Аналізуючи рис. 3.11.г маємо 4 біти, перший та третій перевищують пороговий рівень, тож дорівнюють одиниці, а другий і четвертий на рівні нуля, отже дорівнюють нулю. Цей аналіз система робить автоматично, а на виході матимемо сигнал як на рис. 3.11.д, що співпадає з початковим сигналом.

Також було змодельовано два випадки при наявності завад у рейковій лінії. Передавальну частину системи не змінюємо та не розглядаємо, адже повідомлення, розширення його спектру та модуляція такі ж самі як на рис.3.11 а,б,в відповідно. Режекторні фільтри не застосовуємо аби виявити спроможність системи без них. Розглянемо окремо кожен випадок.

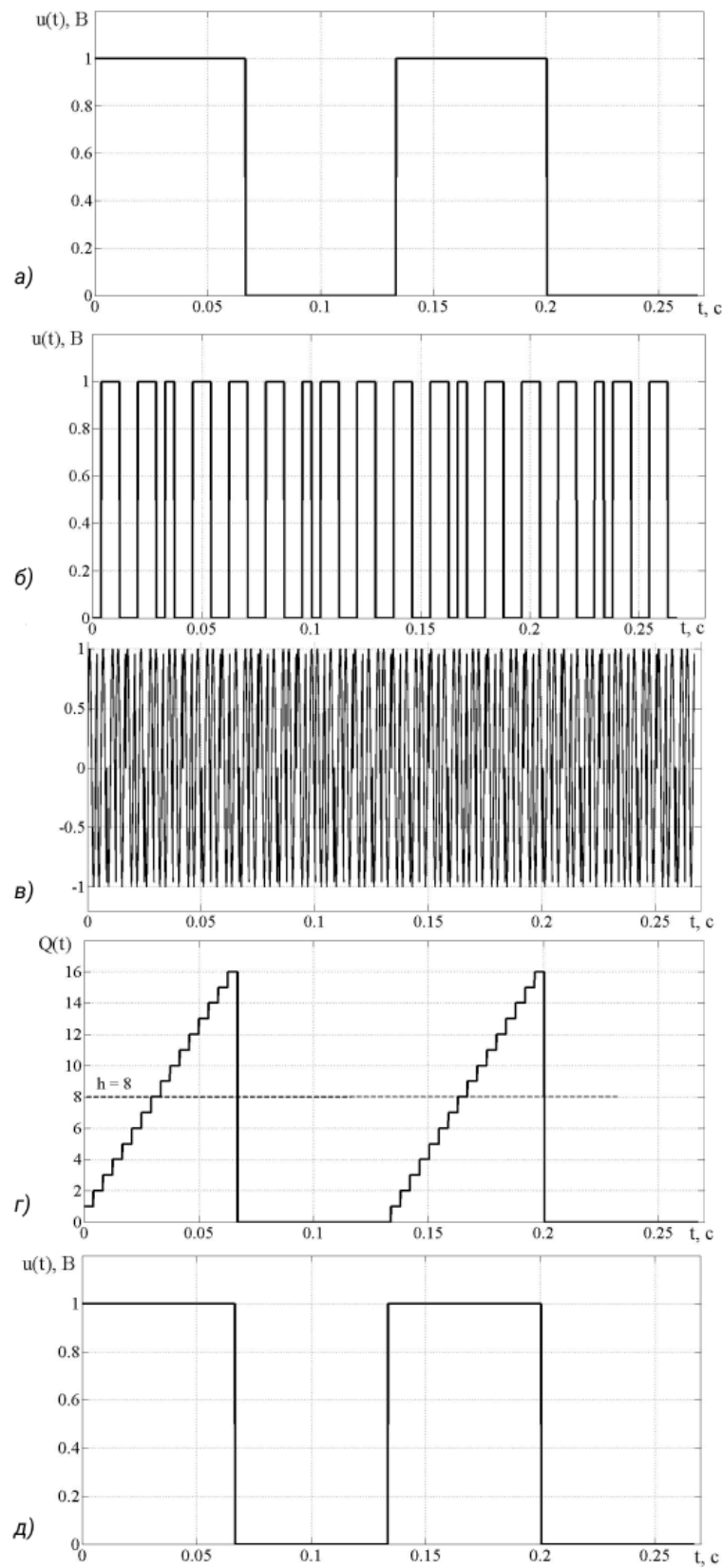


Рис.3.11. Результати імітаційного моделювання системи CDMA-АЛС у пакеті Matlab без наявності завад у лінії: а) початкове повідомлення; б) повідомлення після розширення спектра; в) повідомлення після модуляції; г) повідомлення після інтегратора д) отримане повідомлення

Оскільки система CDMA-АЛС, налаштована на діапазон частот (155...395) Гц, а її несуча частота дорівнює 275 Гц, ми розглянули випадки, коли у сигналі наявні найближчі гармоніки тягового струму. Перший випадок це наявність завади частотою 250 Гц. Було змодельовано заважаючу частоту 250 Гц з відношенням сигнал/шум, що дорівнює 1/3. У результаті на приймач сигналів CDMA-АЛС надійшов сигнал як на рис.3.12.а. Після демодуляції та підбору кода Уолша на виході інтегратора отримано сигнал рис.3.12.б. Аналізуючи розташування сходинок по відношенню до порогового рівня команда CDMA-АЛС розшифровується правильно 3.12.в.

При більшій амплітуді заважаючої частоти 250 Гц команда розшифровується з помилками, та слід враховувати, що в даному випадку не задіяні режекторні фільтри, а також можна налаштувати амплітудний обмежувач, який би «зрізав» амплітуду сигналу до певної межі.

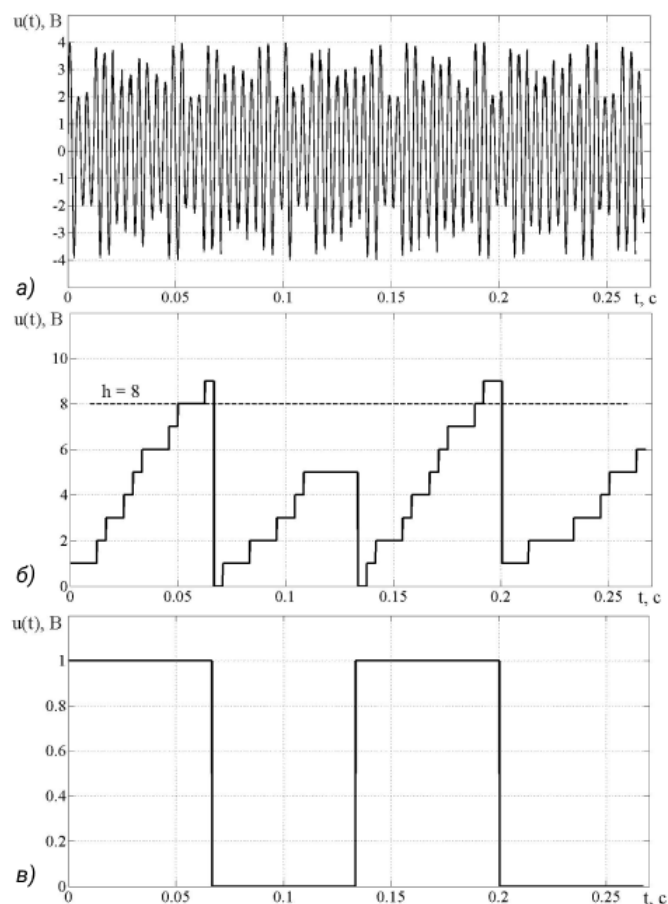


Рис.3.12. Результати імітаційного моделювання системи CDMA-АЛС у пакеті Matlab із завадою 250 Гц: а) повідомлення на вході приймача; б) повідомлення після інтегратора; в) отримане повідомлення

Другим випадком розглянемо наступну найближчу частоту гармонік тягового струму, а саме 300 Гц. Відношення сигнал/шум обрано 1/2. При більшій амплітуді заважаючої частоти 300 Гц команда розшифровується з помилками. Отже, на приймач сигналів CDMA-АЛС надійшов сигнал як на рис.3.13.а. Після демодуляції та підбору кода Уолша на виході інтегратора отримано сигнал рис.3.13.б. Аналізуючи розташування сходинок по відношенню до порогового рівня команда CDMA-АЛС розшифровується правильно 3.13.в.

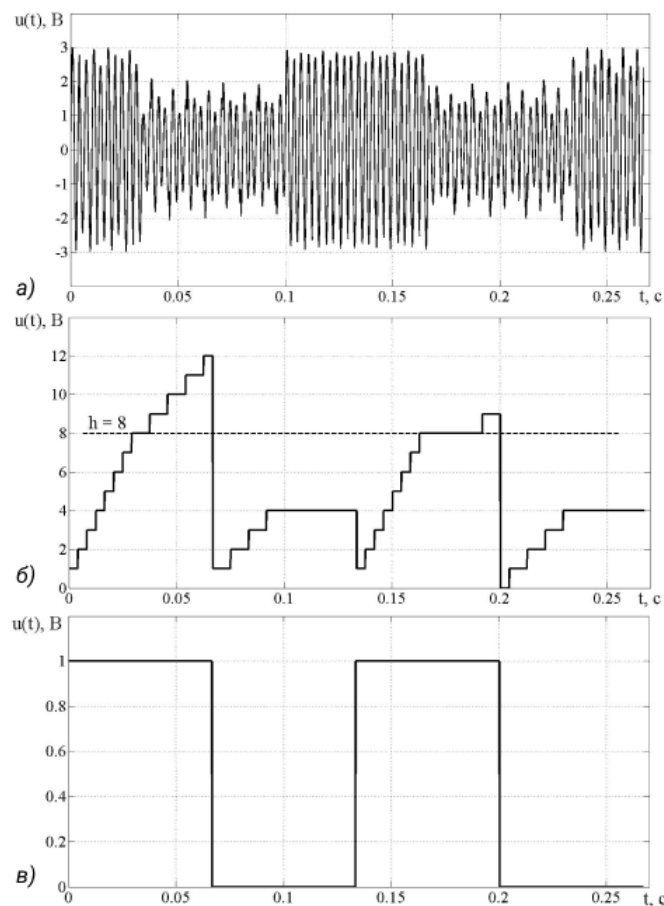


Рис.3.13. Результати імітаційного моделювання системи CDMA-АЛС у пакеті Matlab із завадою 300 Гц: а) повідомлення на вході приймача; б) повідомлення після інтегратора; в) отримане повідомлення

3.6. Висновки по розділу 3

У цьому розділі була запропонована новаторська багатозначна система CDMA-АЛС, яка побудована на принципі технології CDMA. Якщо раніше було обмеження щодо ширини спектру близько 20 Гц, він мав розташовуватись між частотами гармонік тягового струму аби не відбувалось накладання сигналів та збільшення імовірності помилки, то в технології CDMA основною ідеєю є передача широкосмугових шумоподібних сигналів, спектр яких обирається доволі широким, а корисна інформація завдяки цьому ніби «розмазується» по спектру. Таким чином гармоніки тягового струму, що є вузькосмуговими завадами, не несуть загрози для передачі сигналу, а швидкість повідомлення значно збільшується.

Обрано параметри системи та складена система команд, яка задовольнить потреби як при звичайному русі поїздів, так и при високошвидкісному. Є значний резерв для створення додаткових команд, що робить систему перспективною та гнучкою.

Розроблено принципові схеми таких вузлів системи як модуль центральної обробки та інформаційний модуль (блок індикації та блок вводу даних). Також розроблено функціональні схеми генератора та приймача сигналів CDMA-АЛС, побудовано модель такої системи у пакеті Matlab. Змодельовано принцип передачі та отримання повідомлень з наявністю завад у лінії та без них. Наочно представлено графіки, які відображають сигнал на різних стадіях його передачі. Модель є дуже гнучкою, що дозволяє змодельовати найрізноманітніші варіанти.

Отже, система володіє гарною завадостійкістю завдяки, по-перше, диференційній двопозиційній фазовій маніпуляції, яка сама по собі є досить захищеною; по-друге, кореляційному прийому, що базується на принципі порівняння; по-третє, широкосмуговий сигнал сам по собі є стійкий до завад.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЛОКОМОТИВНОГО НАВІГАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ

4.1. Огляд традиційних методів визначення місцезнаходження поїзда

На залізницях простежується тенденція щодо зростання пасажиропотоків, а швидкості поїздів вже давно перевищили сто кілометрів на годину. Задля організації більш ефективного вантажо- та пасажиропотоку з'являється необхідність визначення координат рухомих об'єктів в реальному часі. Інформація про положення поїзда допоможе у вирішенні таких задач, в яких необхідне знання лінійних координат поїзда, а саме робота пристроїв та систем автоматики (вдосконалена робота переїздів, систем контролю швидкості та ін.), розрахунок кривої швидкості (більш ефективно створення обмежень швидкостей на перегонах та визначення гальмівних шляхів), створення та налаштування електронної карти та навігації (контроль місцеположення поїзда в режимі реального часу).

В даний час, основним видом датчиків визначення координат рухомого складу є рейкові кола, що дозволяють визначити факт знаходження або відсутності на самому рейковому ланцюзі колісної пари в момент її входу і виходу, проте істотно обмежують можливості систем оповіщення. Це пов'язано з тим, що рейкове коло має широкий крок дискретності в десятки і сотні метрів, що не дає можливості на його основі отримувати інформацію про швидкість руху поїзда, а також визначати фактичну функцію розгону і гальмування складу. Недоліки – збої при забрудненому баласті, економічна недоцільність обладнання рейкових кіл і їх обслуговування на малодіяльних ділянках. Однак, рейкове коло має низку переваг - високу надійність і достатній захист від впливу зовнішніх факторів [15]. Отже, сучасним вимогам забезпечення ефективного руху поїздів на швидкісних магістралях такий метод не відповідає, але для мало задіяних ділянок, де пасажирообіг не великий, такий спосіб є досить актуальним.

Відомі й інші методи вимірювання координат і швидкостей рухомого складу з використанням наступних вимірювачів (датчиків): шлейфові, осьові, радіолокаційні, лазерні, фідерні.

Наступним з поширених в експлуатації пристроїв є пристрій рахунку осей, який використовує осьові датчики. Його використовуються для визначення місцезнаходження поїздів, виявлення перегрітих букс, наявності плазунів на колесах в поїздах та реєстрації числа осей, що проходять через контрольну точку [18]. Недоліки - збої при русі через осьові датчики спеціалізованого рухомого складу, відсутність контролю цілісності рейок. Однак, є і переваги – економічно вигідно, адже знижується вартість обладнання ділянок шляху та витрати на утримання пристроїв СЦБ і верхньої будови колії. Але, для забезпечення ефективного руху поїздів на швидкісних магістралях такий метод є не надійний.

Ще одним датчиком місцеположення поїзда, розповсюдженим у закордонних системах, є балізи. Наприклад, у Німеччині вони використовуються в системах INDUSI / PZB та ZUB, у Франції – в системі KVB, в Іспанії – ASFA, в Скандинавських країнах – EBICAB [5,35]. Крім цього, балізи єдиного європейського стандарту (євробалізи) входять до складу Європейської системи керування перевезеннями ERTMS / ETCS [5,35].

Датчики мають такий принцип дії. Поїзд проїжджає над балізою, апаратура виявлення поїзда відправляє дані про його розташування в центр управління. Центр управління отримавши дані про розташування всіх поїздів визначає допустиму для них швидкість і передає через баліз дану інформацію машиністу поїзда разом з характеристиками шляху. Бортовий комп'ютер обчислює криву швидкості і визначає допустиму швидкість руху і наступну критичну точку гальмування і передає інформацію машиністу. Установка замкненого кола між баліз дозволяє отримати бортовим комп'ютером попередню інформацію про наступний відрізок шляху і заздалегідь визначити критичну точку гальмування відображаються машиністу. Ця

інформація запобігає занадто ранньому гальмуванню поїзда, що дозволяє значно скоротити час поїздки. Обмін даними між локомотивом та євробалізою можливий на швидкостях до 500 км/год [5,35].

Для швидкісного та високошвидкісного руху балізи в поєднанні зі швидкостемірами та супутниковою навігацією є досить перспективним напрямком модернізації пристроїв автоматики, сигналізації та зв'язку, але в Україні досвід використання таких пристроїв поки що відсутній. А задля впровадження на українських магістралях точкових датчиків шляху – баліз, необхідно багато коштів на перевлаштування АЛС з безперервної, яка функціонує зараз, на точкову по всіх магістралях країни.

4.2. Визначення географічних координат поїзда за допомогою супутникової навігації

Базовий принцип роботи супутникових систем навігації заснований на вимірюванні відстані від антени на об'єкті (координати якого необхідно отримати) до супутників, положення яких відомо з великою точністю. Таблиця положень всіх супутників називається альманахом, який повинен мати у своєму розпорядженні будь-який супутниковий приймач до початку вимірювань. Зазвичай приймач зберігає альманах в пам'яті з часу останнього виключення і якщо він не застарів - миттєво використовує його. Кожен супутник передає в своєму сигналі весь альманах. Таким чином, знаючи відстані до декількох супутників системи, за допомогою звичайних геометричних побудов, на основі альманаху, можна обчислити положення об'єкта в просторі [13].

Метод вимірювання відстані від супутника до антени приймача заснований на визначенні часу поширення радіохвиль. Для вимірювання часу розповсюдженого радіосигналу кожен супутник навігаційної системи випромінює сигнали точного часу, використовуючи точно синхронізований з системним часом атомний годинник. При роботі супутникового приймача

його годинник синхронізуються з системним часом, і при подальшому прийомі сигналів обчислюється затримка між часом випромінювання, що містяться в самому сигналі, і часом прийому сигналу. Маючи в своєму розпорядженні цю інформацію, навігаційний приймач обчислює координати антени. Всі інші параметри руху (швидкість, курс, пройденої відстань) обчислюються на основі вимірювання часу, який об'єкт витратив на переміщення між двома або більше точками з певними координатами [13].

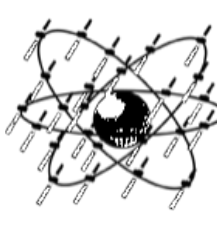
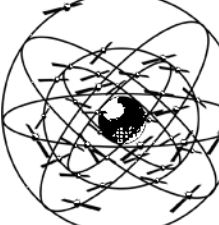
Оскільки точність координат становить лише 25-50 м, існує спосіб підвищення цієї точності за рахунок використання так званих диференціальних поправок, які надходять на приймач від спеціальної наземної станції. З її допомогою можна досягти сантиметрових точностей, однак створення такої станції вимагає великих витрат.

Крім того, у супутникової системи є ще один великий недолік. При її використанні об'єкти стають прив'язаними до глобальної системи географічних координат. Їх вразливість перед засобами ураження значно зростає. У разі виникнення загрози система супутникової навігації GPS / ГЛОНАСС буде відключена, а іншим аналогічним системам поставлені радіоелектронні перешкоди. Саме в цей момент припинять свою роботу всі автоматизовані системи управління рухом, що використовують принцип позиціонування об'єктів за допомогою супутникової навігації.

У світі зараз широко використовують американську глобальну систему супутникової навігації GPS. Паралельно функціонує аналогічна російська система ГЛОНАСС. Також в даний час ведуться роботи з розгортання глобальних навігаційних супутникових систем БЕЙДОУ (Китай) і ГАЛІЛЕО (Європа). Японія та Індія розгортають регіональні навігаційні супутникові системи QZSS і IRNSS відповідно [20]. Порівняльна характеристика параметрів глобальних систем наведена у табл.4.1.

Таблиця 4.1

Порівняльна характеристика параметрів глобальних систем

Система	ГЛОНАСС (Росія)	GPS (Америка)	ГАЛІЛЕО (Європа)	БЕЙДОУ (Китай)
Параметри				
Кількість супутників	24	24	24(+3 резерв)	27
Висота орбіти	19 100 км	20 200 км	23 222 км	21 528 км
Період	11 год 15 хв 44 с	11 год 58 хв	14 год 4 хв 45 с	12 год 53 хв 24 с
Нахил	64,8°	55°	56°	55°
Кількість площин	3	6	3	3
Орбітальне групування				

4.3. Традиційний метод перетворення географічних координат поїзда у лінійні

Традиційний метод перетворення координат поїзда у лінійні використовується, наприклад у системі КЛУБ, і полягає у наступному. В електронну карту комплексного локомотивного пристрою безпеки попередньо записуються координати послідовно розташованих кілометрових стовпів по маршруту руху поїзда. У той момент, коли координати, розраховані локомотивним приймачем супутникової навігаційної системи, співпадуть з координатами одного з кілометрових стовпів, система визначає свої залізничні координати і знаходить на електронній карті відстань до найближчого залізничного об'єкта [10].

При включенні локомотивного пристрою відбувається визначення географічної координати локомотива за допомогою навігаційних засобів, далі

по електронній карті шляху визначаються дві найближчі точки, географічні координати яких прив'язані до залізничних (далі лінійних) координат електронної карти; після цього по наступній методиці вираховується відповідна лінійна координата.

Для визначення лінійної координати локомотива (C), введемо наступні позначення:

$A (x_A, y_A)$ – географічні координати 1-ї прив'язаної точки;

$B (x_B, y_B)$ – географічні координати 2-ї прив'язаної точки;

$C (x_C, y_C)$ – географічні координати локомотива.

L – шлях, пройдений локомотивом, з урахуванням кривизни шляху, м;

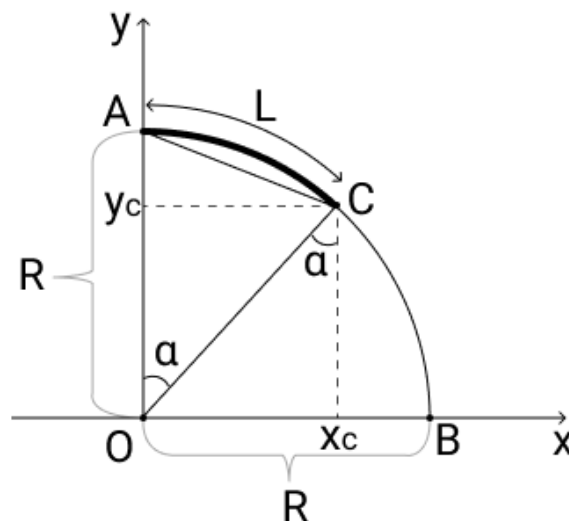


Рис.4.1 Схема визначення лінійної координати локомотива та її похибки

Для визначення пройденого шляху локомотивом за традиційним методом побудуємо криву з рівномірним радіусом (рис. 4.1), та позначимо точки A та B , які мають відомі координати, а саме $A(0, R)$, $B(R, 0)$, що виступатимуть у ролі кілометрових стовпів. Локомотив матиме координати C , які змінюються залежно від його розташування на шляху. За допомогою тригонометричних функцій знаходимо координати локомотива (точки C):

$$x_C = R \cdot \sin \alpha \quad (4.1)$$

$$y_C = R \cdot \cos \alpha \quad (4.2)$$

де α -кут між прямими АО та ОС, R-радіус кривої.

Звідси відстань AC від кілометрового стовпа (точки А) до локомотива без урахування кривизни шляху визначається по формулі:

$$AC = \sqrt{(x_A - x_C)^2 + (y_A - y_C)^2} \quad (4.3)$$

Цей метод є не точним, адже не враховується кривизна шляху. Звідси похибка визначення лінійної координати локомотива Δl :

$$\Delta l = L - AC \quad (4.4)$$

$$\text{де } L = R \cdot \alpha \quad (4.5)$$

Побудуємо графіки залежності похибки визначення лінійної координати локомотива від радіуса кривої, а також від пройденого шляху (рис.4.2), аби наочно побачити залежності та зробити висновки.

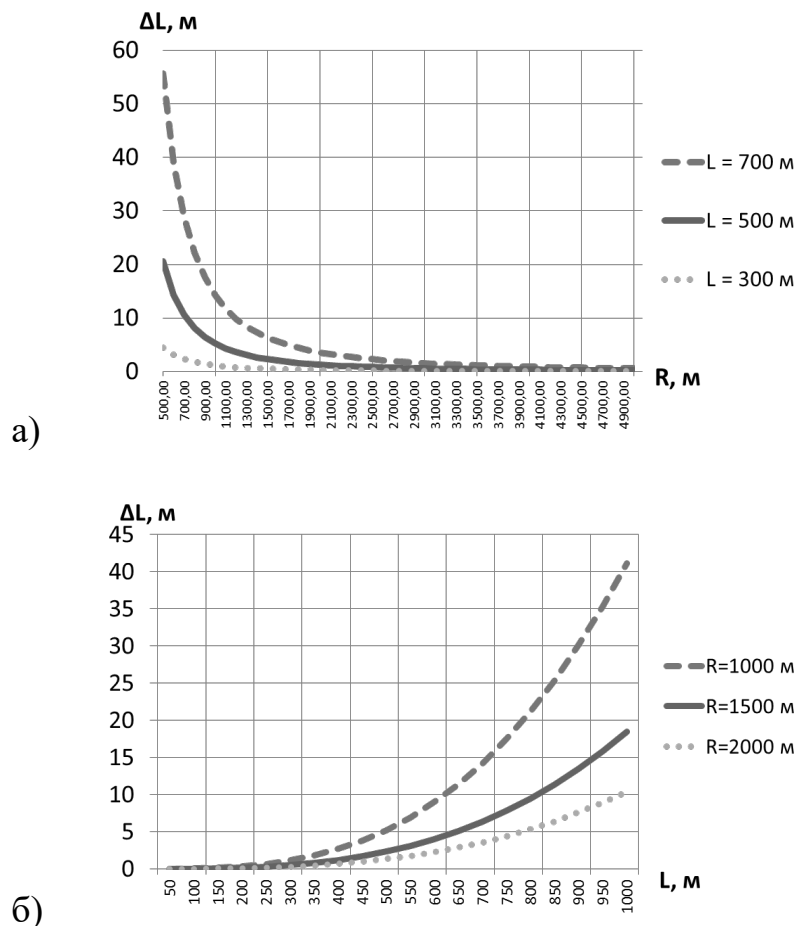


Рис. 4.2. Графіки залежності: а) похибки від радіуса кривої; б) похибки від величини пройденого шляху

Як видно з графіків, похибка показань збільшується разом із величиною пройденого шляху локомотивом. А також чим менший радіус кривої, яку проходить локомотив, тим похибка більша.

Таким чином значним недоліком традиційного методу перетворення географічних координат поїзда у лінійні є те, що у розрахунках не враховується кривизна та профіль шляху, а отже місцезположення поїзда визначається зі значною похибкою.

4.4. Удосконалений метод перетворення географічних координат у лінійні

Оскільки традиційний метод перетворення географічних координат у лінійні має такий недолік як неточність показань за рахунок того, що в ньому не враховуються кривизна та профіль шляху, є актуальним удосконалення такого методу. У першу чергу необхідно підвищити точність. Вирішити цю проблему можна за рахунок збільшення кількості опорних точок, що зменшить радіус на кривих ділянках шляху. Також необхідно здійснювати апроксимацію кривих, наприклад, за допомогою штучної нейронної мережі, що ще більше підвищить точність показань.

Штучна нейронна мережа — це математична програмна модель (рис.4.3), побудована за принципом функціонування біологічних нейронних мереж — мереж нервових клітин живого організму [23].

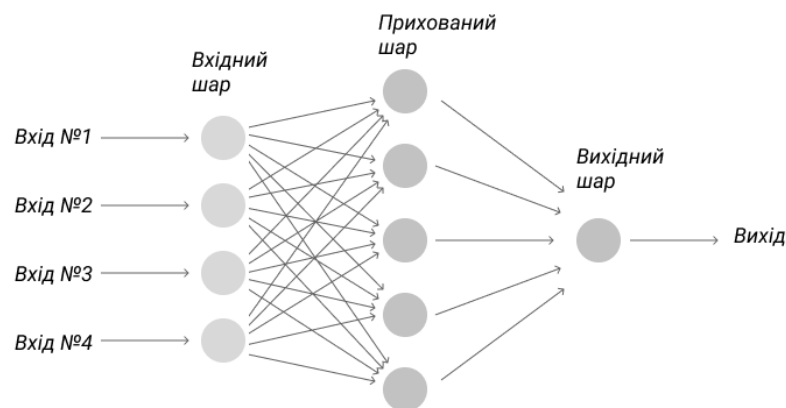
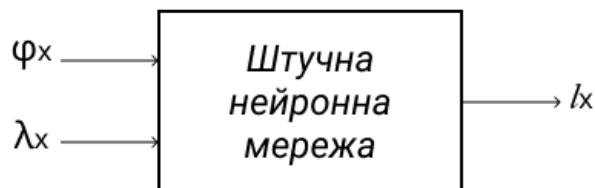


Рис. 4.3. Модель штучної нейронної мережі

Працює штучна нейронна мережа наступним чином: на входи нейронів надходять сигнали, які додаються. При цьому враховується синоптична маса, тобто значимість кожного з входів. Далі, вхідні сигнали одних нейронів надходять на входи інших нейронів. Маса кожного такого зв'язку може бути позитивною (збуджуючі зв'язки) або негативною (гальмівні зв'язки). Вони визначають обчислення нейронної мережі, а значить її пам'ять та поведінку. Принцип дуже схожий на роботу нашого власного процесору – мозку.

Але для того, щоб штучна нейронна мережа виконувала складні завдання, її необхідно навчити. Технічно, навчання полягає в знаходженні коефіцієнтів зв'язків між нейронами, відбувається повторна активація деяких нейронних з'єднань. Через це збільшується імовірність виведення потрібного результату при відповідній вхідній інформації (сигналах). В процесі навчання нейронна мережа здатна виявляти складні залежності між вхідними даними й вихідними, а також здійснювати узагальнення.

Щодо використання нейронної мережі для знаходження місцеположення поїзда на шляху пропонуємо наступну модель пристрою рис. 4.4:



де (φ_x, λ_x) – географічні координати поїзда (визначаються за допомогою супутникової навігації); l_x – лінійна координата поїзда.

Рис.4.4. Модель локомотивного навігаційного модуля

Принцип дії пристрою наступний. Навігаційний модуль визначає поточні географічні координати поїзда, тобто довжина та широта у градусах, і передає їх в локомотивний модуль безпеки. Локомотивний модуль безпеки аналізує дані навігаційного модуля, дані електронної карти, а саме

інформацію з навчаючої вибірки, за допомогою нейронної мережі виконує апроксимацію кривої і визначає поточну лінійну координату поїзда. Більш детально розглянемо принцип визначення лінійних координат поїзда на прикладі ділянки залізниці.

Для досліду було взято кілометрову ділянку залізничного шляху, на якій окрім звичайних кілометрових стовпів було розміщено вздовж залізниці пікетні стовпчики на відстані 100 м один від одного, географічні координати яких занесені до електронної карти локомотивного пристрою. Ділянка знаходиться на балансі Придніпровської залізниці – Новокодакський район міста Дніпро Дніпропетровської області (рис.4.5).

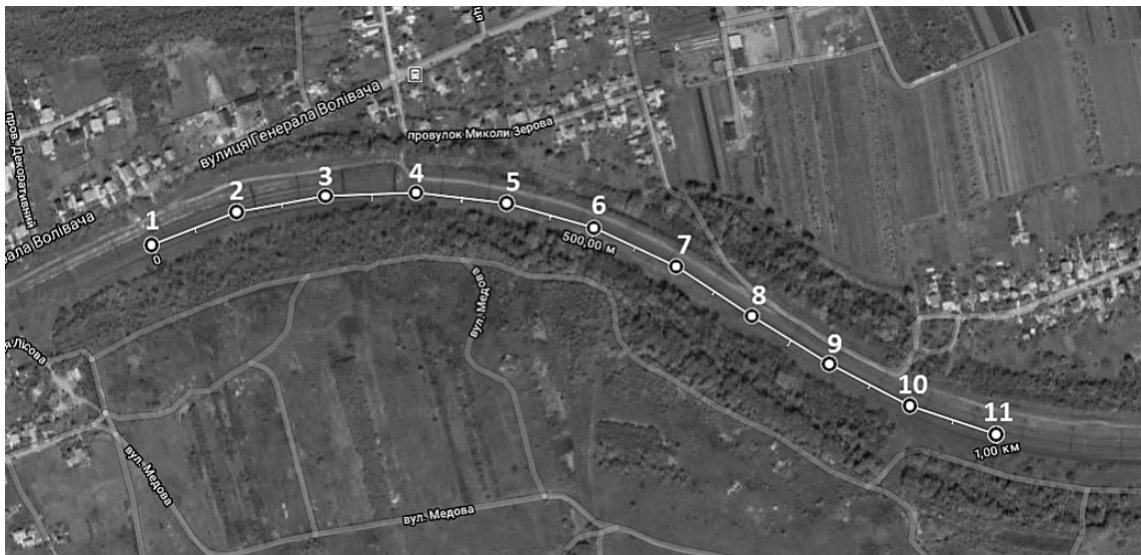


Рис.4.5. Ділянка шляху, на якій проводилось моделювання пристрою безпеки

Навчаючу вибірку для нейронної мережі представляють собою координати пікетних стовпчиків (табл. 4.2).

Навчаюча вибірка для нейронної мережі

Номер пикет. стовпа	Лінійні координати, м	Географічні координати, °	Номер пикет. стовпа	Лінійні координати, м	Географічні координати, °
1	0	48,443496 34,825815	7	600	48,443285 34,833649
2	100	48,443821 34,827080	8	700	48,442793 34,834783
3	200	48,443979 34,828414	9	800	48,442322 34,835937
4	300	48,444013 34,829769	10	900	48,441907 34,837140
5	400	48,443908 34,831114	11	1000	48,441627 34,838429
6	500	48,443667 34,832423	—	—	—

Навчання мережі полягає в наступному – системі відомі географічні та відповідні їм лінійні координати опорних точок. Під опорними точками маємо на увазі кілометрові та пикетні стовпчики. Шляхом підбору найближчих географічних координат нейронна мережа перебирає дані з навчаючої вибірки і шляхом апроксимації визначає найімовірнішу лінійну координату будь-якої точки, яка знаходиться на шляху між пикетними стовпчиками. Точність таких операцій є більшою за 99%.

За допомогою математичного пакету Matlab було створено модель пристрою (Додаток В), яка за допомогою географічних координат опорних точок шляхом апроксимації визначає фактичне місце розташування локомотива. Для апроксимації кривих використовується нейронна мережа з радіально-базисними функціями, оскільки вона дає найменшу похибку при апроксимації, порівняно з нейронними мережами інших типів.

Для прикладу приведено п'ять точок розташування локомотива на шляху, що позначені літерами А, В, С, D, Е (рис.4.6), та відомі їх географічні координати. Завдяки відомим географічним координатам пикетних стовпчиків, створена модель визначає лінійну відстань до кожної з точок починаючи від кілометрового стовпчика (початку обраної ділянки).

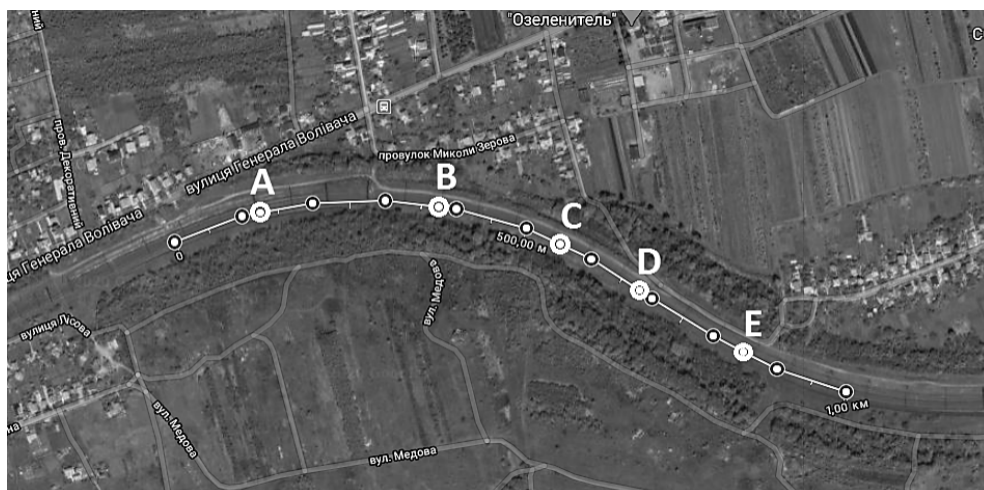


Рис. 4.6. Точки на шляху, відстані до яких розраховані за допомогою створеної моделі пристрою

Результати вимірювання відстані шляхом карти та відомого масштабу, а також за допомогою створеної моделі пристрою, приведено у таблиці 4.3:

Таблиця 4.3

Результати вимірювання відстаней

Точка	Географічні координати, °	Відстань, м	Відстань, встановлена моделлю, м	Похибка, м
A	48,443863 34,827425	126	126,4625	0,4625
B	48,443935 34,830780	374	375,0923	1,0923
C	48,443468 34,833062	552	552,4242	0,4242
D	48,442892 34,834556	681	679,7918	1,2082
E	48,442123 34,836503	848	847,2600	0,74

З отриманих результатів видно, що відстані визначені дуже точно, адже похибка не перевищує 1%. Таким чином можна говорити про те, що модель пристрою з використанням нейронної мережі для апроксимації кривої, є перспективною технологією визначення фактичного місця розташування локомотива, що в свою чергу поліпшить умови для руху поїзда при високих швидкостях, а також зробить значний внесок в організації більш ефективного вантажо- та пасажиропотоку.

4.5. Структура та принцип дії локомотивного навігаційного пристрою

Навігаційний пристрій, що працюватиме з використанням нейронної мережі для апроксимації кривої, матиме наступну структуру (рис.4.7):

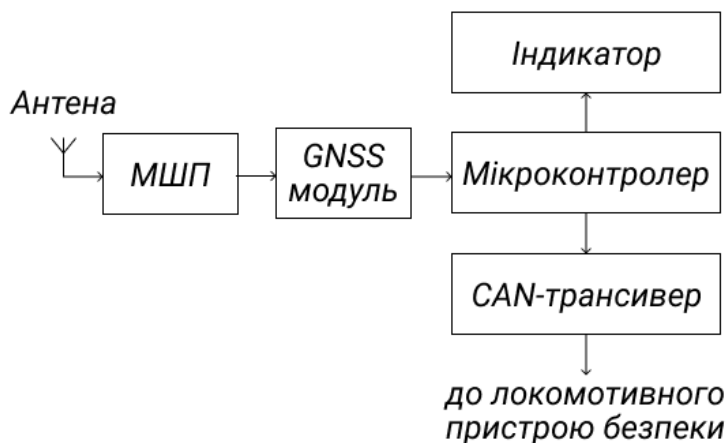


Рис. 4.7. Структурна схема навігаційного пристрою

Пристрій побудовано на основі CAN-інтерфейсу і згідно рис.4.7 включає в себе такі елементи:

- Малошумний підсилювач (МШП) - необхідний для збільшення чутливості приймальних пристроїв по відношенню до вхідного сигналу.
- Супутниковий приймач (GNSS-модуль) – приймає та обробляє навігаційні протоколи від супутників, тим самим визначає місце географічне розташування локомотива.
- Мікроконтролер – є «мозком» пристрою, адже саме він запрограмований на виконання необхідних програм, а саме перетворення географічних координат у лінійні за допомогою нейронної радіально-базисної мережі.
- CAN-трансивер – реалізує фізичний рівень CAN-інтерфейсу. Є ключовим елементом шини CAN, тому що від нього безпосередньо залежать швидкість, дальність і стійкість передачі даних, кількість вузлів в мережі, рівень електромагнітних випромінювань і ін.

- Індикатор – відображає лінійну інформацію при налаштуванні пристрою.

4.6. Розробка принципової електричної схеми локомотивного навігаційного пристрою

Згідно структурної схеми, наведеної на рис.4.7, було побудовано принципову схему пристрою рис 4.8.

Пристрій побудовано з використанням CAN інтерфейсу - стандарт промислової мережі, орієнтований на об'єднання в єдину мережу різних виконавчих пристроїв і датчиків по принципу «шини». В даний час цей стандарт широко застосовується в промисловій автоматизації, технології «розумного будинку», автомобільної промисловості, в корабельних бортових мережах, управлінні системами кондиціонування повітря, ліфтами, медичними та промисловими установками. У світі вже встановлено понад 100 млн. вузлів мереж CAN, щорічний приріст становить понад 50%. Стандарт CAN визначає передачу без прив'язки до фізичного способу передачі даних, тобто він може бути яким завгодно, наприклад, радіоканалом або оптоволоконном.

В якості GNSS-модуля був обраний мініатюрний дводіапазонний модуль LC79D виробництва компанії Quectel Wireless Solutions, провідного світового виробника модулів стільникового зв'язку і навігації [30]. Модуль LC79D використовує діапазони L1 і L5 для роботи з сигналами GPS, QZSS і Galileo, а також діапазон L1 для роботи з BeiDou і ГЛОНАСС і L5 для роботи з IRNSS. Можливість роботи відразу в двох діапазонах значно збільшує число зафіксованих супутників, і, відповідно, покращує якість визначення координат об'єкту. Також підтримує такі інтерфейси як I2C, UART та SPI [12]. Для контролю справності модуля підключено діод, що працює в миготливому режимі. Опис виводів модуля LC79D приведено у Додатку А Табл. А.1.

Оскільки напруга живлення модуля LC79D становить 1,8 В було обрано регулятор з мінімальним вихідним струмом 150 мА SGM2019 виробництва компанії SGMICRO [31,32]. Для коректної роботи модуля особливо важливо забезпечити достатній струм і зробити живлення якомога чистішим і стабільним. Опис виводів мікросхеми SGM2019 приведено у Додатку А Табл. А.2.

Для підвищення чутливості приймача і зменшення TTFF використовуємо зовнішній малoshумний підсилювач BGU8006 виробництва компанії NXP Semiconductors, підключений між пасивною антеною і модулем LC79D. Підсилювач збільшує вхідний сигнал у 17,2 дБ [24]. Опис виводів МШУ BGU8006 приведено у Додатку А Табл. А.3.

Центральною мікросхемою пристрою є мікроконтролер виробника Microchip із сім'ї PIC18, а саме 8-розрядний PIC18F26K80 [29]. Має 28 виводів, вбудований CAN-інтерфейс, а також CAN-трансивер. Для обміну інформацією з модулем GNSS використовується інтерфейс I2C. Для синхронізації підключено кварцевий резонатор. Цифрові входи/виходи з'єднані з GNSS-модулем, зовнішнім CAN-трансивером та дисплеєм. Опис виводів мікроконтролера приведено у Додатку А Табл. А.4.

Хоч у мікроконтролера є вбудований CAN-трансивер, але трансивер у вигляді окремої мікросхеми є необхідністю. Пояснюється це, перш за все, високими вимогами до його надійності та робочих характеристик, оскільки працює він з колами, що фізично виходять за межі пристрою. А умови, в яких перебувають ці кола, часто не визначені: наприклад, сильні магнітні поля або відносна близькість високовольтних кіл. Більш того, при необхідності гальванічної розв'язки її найзручніше здійснювати саме між трансивером і контролером CAN-мережі.

Ми використали CAN-трансивер TJF1051 від NXP - високошвидкісний CAN-трансивер, що забезпечує інтерфейс між контролером протоколу локальної мережі (CAN) і фізичною двопровідною шиною CAN [36]. TJF1051 відноситься до третього покоління

високошвидкісних CAN-трансиверів від NXP. Напівпровідники, задіяні в ньому значно поліпшені в порівнянні з пристроями першого і другого покоління, такими як TJA1050. Опис виводів трансивера приведено у Додатку А Табл. А.5.

Для виведення інформації на дисплей був узятий стандартний однорядковий символний індикатор на 16 символів в рядку, який підтримує кирилицю і має синій фон з білими символами [27]. Опис виводів дисплея приведено у Додатку А Табл. А.6.

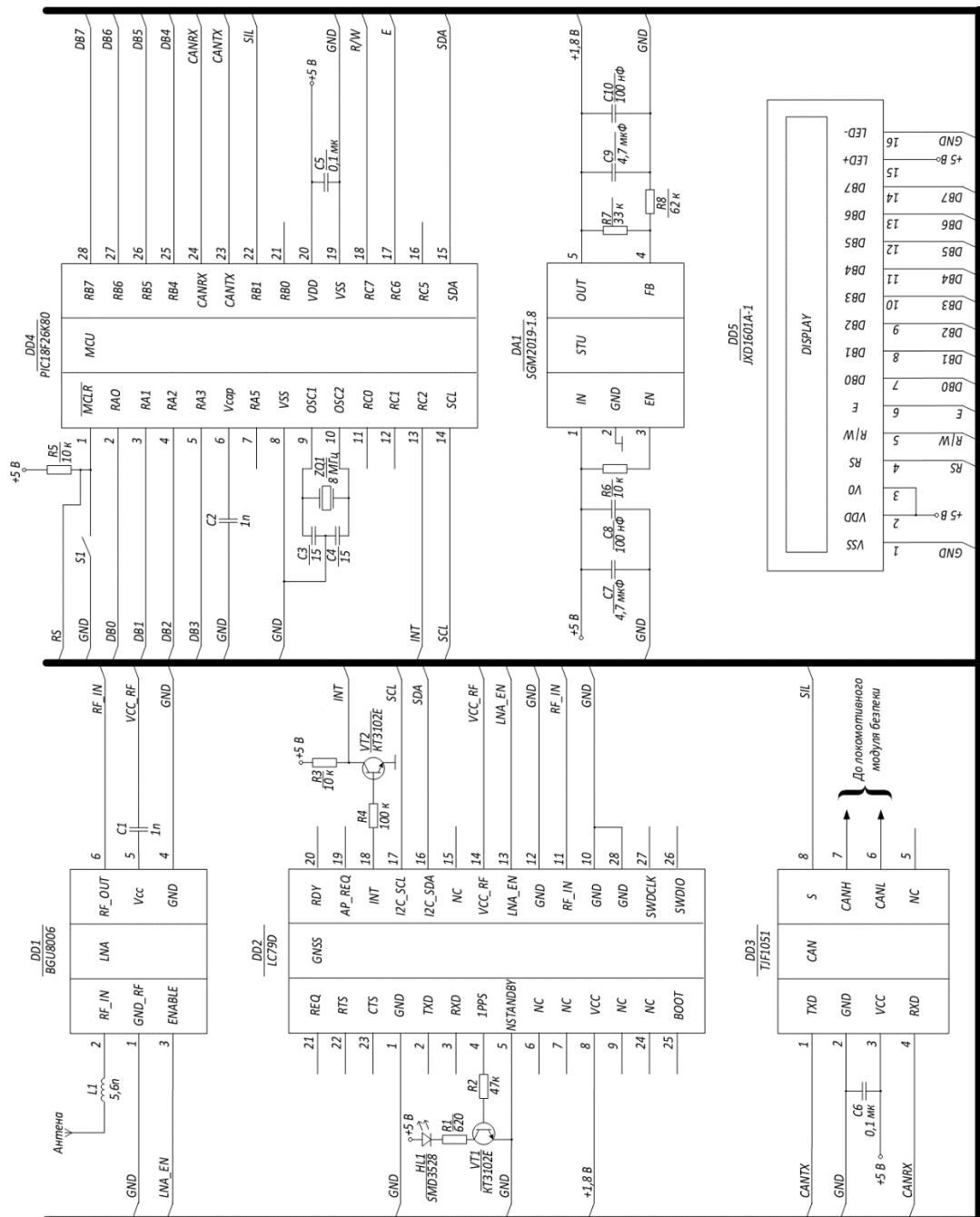


Рис. 4.8. Принципова схема навігаційного пристрою

4.7. Висновки по розділу 4

У ході роботи по створенню локомотивного пристрою супутникової навігації за мету було поставлено декілька задач, а саме:

- Проаналізувати усі відомі методи визначення місцеположення поїзда на шляху, що застосовуються в Україні і за кордом, та виділити переваги та недоліки кожного, аби обрати найперспективніший метод для швидкісного руху в Україні;
- Оглянути сучасні навігаційні системи та традиційний спосіб перетворення географічних координат у лінійні;
- Запропонувати удосконалений метод перетворення географічних координат у лінійні та втілити його в унікальному локомотивному пристрої супутникової навігації.

В результаті роботи було запропоновано принципову схему локомотивного пристрою супутникової навігації, що здатний працювати з сигналами таких супутникових систем як GPS, ГЛОНАСС, BeiDou і Galileo. На програмному рівні для перетворення географічних координат у лінійні пристрій використовує нейронну радіально-базисну мережу, яка навчається завдяки географічним координатам пікетних стовпчиків, які було розміщено на шляху через кожні 100 м. Маючи координати пікетних стовпчиків система самостійно визначає місцеположення локомотива на шляху з похибкою до 2 м, що є досить точним показником.

Щодо перспективного метода визначення місцеположення поїзда на шляху при швидкісному та високошвидкісному русі в Україні за неможливістю застосування баліз як в Європейських країнах, є використання більш інформативної АЛС в поєднанні зі швидкостемірами, електронною картою та супутниковою навігацією, що є оптимальним та сучасним напрямком модернізації пристроїв автоматики, сигналізації та зв'язку.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Зробивши аналіз існуючих систем автоматичної локомотивної сигналізації було з'ясовано, що та система АЛСН, яка використовується на території України, є низько інформативною, має невисоку завадостійкість до електромагнітних завад, не несе інформації про швидкісні обмеження, не актуальна для високошвидкісного руху та взагалі морально застаріла, адже функціонує все більше 70 років. Щодо супутникової навігації, то в системі АЛСН її немає. Про місцеположення поїзда можна дізнатись лише в радіусі блок-ділянки, а вона завдовжки не менше 1 км. Отже, все ці фактори вказують на те, що потрібні зміни.

У роботі було запропоновано багатозначну систему CDMA-АЛС, аналогів якої взагалі не існує. Визначено алгоритм дії модуля центральної обробки інформації, іншими словами «серця» системи. Принцип дії базується на технології CDMA, тобто передача інформації у вигляді широкосмугових шумоподібних сигналів. В такому випадку задіяний весь спектр для передачі повідомлення, а отже і швидкість передачі значно збільшується. Забезпечується висока захищеність даних, адже без знання відповідного унікального коду Уолша дані не розшифрувати. Система володіє високою гнучкістю, тому що при поділі за допомогою технології CDMA число каналів строго не обмежено. І незважаючи на те, що чим більше число повідомлень, тим вище ймовірність появи помилок декодування, це може вести до зниження якості каналу, але без відмови обладнання при цьому. Найголовніша перевага такої технології для використання на залізниці це висока захищеність від впливу зосереджених за спектром завад, якими наприклад є гармоніки тягового струму. Енергія шумоподібного сигналу розподіляється в широкій смузі частот і вузькосмугові, навіть дуже потужні завади на нього суттєво не впливають. Звідси випливає ще один плюс – відпадає необхідність у додаткових фільтрах проти електромагнітних завад, адже такі завади не несуть загрози.

Для такої системи було розроблено систему команд, яка включає в себе 14 команд і 2 резервні, але ресурси системи дозволяють створити 256 команд, що є дуже перспективним. Також запропоновано принципові схеми таких вузлів системи як модуль центральної обробки та інформаційний модуль (блок індикації та блок вводу даних).

Було проведено імітаційне моделювання системи у пакеті Matlab, на базі створеної структурної схеми генератора та приймача кодів CDMA-АЛС. Це дозволило переконатися у стійкості системи до завад.

Також був розроблений локомотивний навігаційний пристрій. Принцип визначення місцеположення поїзда базується на використанні радіально-базисної нейронної мережі, яка відрізняється гарними можливостями щодо апроксимації кривих. До навчаючої вибірки заносяться координати пікетних стовпчиків, що розташовуються на відстані 100м один від одного, а система за допомогою нейронної мережі визначає місцеположення локомотива з точністю до 99%. Було проведено моделювання такої мережі у пакеті Matlab на ділянці залізниці Новокодакського району міста Дніпро Дніпропетровської області, а також представлена принципова схема такого модулю.

В якості пропозиції бачимо доцільним поглиблену розробку та тестування запропонованої системи CDMA-АЛС, адже вона має високі показники стійкості до електромагнітних завад, що є актуальним для експлуатації на залізниці, а також багаті ресурси щодо розвитку та покращення у майбутньому. Така система у комплекті з навігаційним пристроєм безпеки підніме рівень автоматичної локомотивної сигналізації в Україні до Європейських зразків, а також значно підвищить показники безпеки на залізниці.

Також можна розглянути пристрій локомотивної сигналізації як окремий модуль, що може бути інтегровано в системи АЛС, які функціонують зараз, задля підвищення показників залізничних перевезень та безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматическая локомотивная сигнализация (АЛС) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scbist.com/wiki/7259-als.html>
2. Автоматическая локомотивная сигнализация АЛС-МУ / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/392037/page:26/>
3. Бервинов В.И. Локомотивные устройства безопасности [Текст] / Бервинов В.И., Доронин Е.Ю. // М.: Маршрут, 2005. – 156 с.
4. Беспалов М. С. Функции Уолша и их приложения : учебн. пособие [Текст] / Беспалов М. С., Скляренко В. А. // Владим. гос. ун-т. имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых — Владимир : Изд-во ВлГУ, 2012. — 35 с.
5. Бойник А. Б. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах [Текст] / А. Б. Бойник, С. В. Кошевой, С. В. Панченко и др. // Харьков: УкрГАЗТ, 2005. – 256 с.
6. Брылеев А.М. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка./ А.М. Брылеев, О. Поупе, В.С. Дмитриев, Ю.А. Кравцов, Б.М. Степенский. // – М.:Транспорт, 1981. – 320 с.
7. Венцевич Л.Е. Локомотивные устройства обеспечения безопасности движения поездов и расшифровка информационных данных их работы:/ Венцевич Л.Е // Учебник для учащихся образовательных учреждений ж.-д. транспорта, осуществляющих профессиональную подготовку. – М.:Маршрут, 2006. – 328 с.
8. Влияние высших гармоник напряжения и тока на работу электрооборудования / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/260-vlijanie-vysshih-garmonik.html>
9. Гончаров К. В. Застосування широкосмугових шумоподібних сигналів в системі автоматичної локомотивної сигналізації [Текст]/ Гончаров К. В., Коваленко А. О.// Проблеми та перспективи розвитку залізничного

- транспорту: Тези 80 Міжнародної науково-практичної конференції (м. Дніпро, 2020 р.) – Д.: ДНУЗТ, 2020. – С. 141-143
- 10.Зорин В.И. Унифицированное комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У) [Текст] / Зорина В.И., Астрахан В.И. // М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 177 с.
 - 11.Малыгин Е.А. Технические средства и технологии безопасности транспортного процесса [Текст] / Малыгин Е.А // Екатеринбург: УрГУПС, 2012. – 213 с.
 - 12.Новый GNSS-приемник Quectel – преимущества двух диапазонов / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/140752>
 - 13.Принципы навигации / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.glonass-iac.ru/guide/navfaq.php>
 - 14.Про затвердження Правил технічної експлуатації залізниць України: наказ Міністерства транспорту України N 411 від 20.12.96 [Електронний ресурс]: текст із змін. станом на 10 груд. 2003 р. / М-во юстиції України. – Офіц. вид. – 2003. – Розд.6 – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97#Text>
 - 15.Птушкина Л.В. Совершенствование системы защиты от наездов подвижного состава на инфраструктуре железнодорожного транспорта [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. канд. пед. наук / Птушкина Любовь Викторовна / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://miit.ru/content/Диссертация.pdf?id_wm=770093
 - 16.Путевые датчики / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/392037/page:14/>
 - 17.Система КЛУБ-У / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vselekcii.ru/zheleznodorozhnyj-transport/ats/klub-u>
 - 18.Системы счета осей / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scbist.com/wiki/25385-sistemy-scheta-osei.html>

19. Скляр.Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.:Пер. с англ./ Скляр.Б.// – М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1104 с.
- 20.Современные навигационные спутниковые системы / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.glonass-iac.ru/guide/gnss/index.php>
21. Технология CDMA / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ate-m.by/wiki/term/tekhnologiya-cdma/>
- 22.Унификация (в технике) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/menedzhment/141723-unifikatsiya-v-tekhnike/>
- 23.Штучні нейронні мережі: що це таке? / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://futurum.today/shtuchni-neironni-merezhi-shcho-tse-take/>
- 24.BGU8006 SiGe:C Low Noise Amplifier MMIC for GPS, GLONASS, Galileo and Compass: Product Information - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ru.mouser.com/datasheet/2/302/nxp_phgls25821-1-1740537.pdf
- 25.CDMA: сигналы и их свойства / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.osp.ru/nets/2000/11/141475>
26. Система локомотивной безопасности «ImproTRAIN-250» - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.imp.lg.ua/index.php/ru/slb>
27. JXD1601A-1: Product Information / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://pdf.voron.ua/files/pdf/LCD_indic/JXD1601A-1.pdf
- 28.МС74НС541А: Product Information / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.rs-online.com/e446/0900766b816ded06.pdf>
- 29.PIC18F66K80 Family Enhanced Flash Microcontrollers with ECAN XLP Technology: Product Information / [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/>

- PIC18F66K80%20FAMILY%20Enhanced%20Flash%20MCU%20with%20ECAN%20XLP%20Technology%2030009977G.pdf
30. Quectel_LC79D_Hardware_Design_V1.0: Product Information / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.quectel.com/UploadImage/Download/Quectel_LC79D_Hardware_Design_V1.0.pdf
31. SGM2019 Low Power, Low Dropout, RF Linear Regulators: Product Information / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sg-micro.com/uploads/soft/20190906/1567744517.pdf>
32. SGM2019: Product Information / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sg-micro.com/show-product-510.html>
33. Specifications of Seven segment LED: Product Information / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdf.voron.ua/files/pdf/Semisegment/KL-5631G-BSG.pdf>
34. Specifications of Seven segment LED: Product Information / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdf.voron.ua/files/pdf/Semisegment/KL-4031-BSR.pdf>
35. Theeg, G. Railway Signalling and Interlocking. International Compendium. [Текст] / G. Theeg, S. Vlasenko. – Hamburg: Eurailpress, 2009. – 448 p.
36. TJF1051 High-speed CAN transceiver: Product Information / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/TJF1051.pdf>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Таблиця А.1

Модуль LC79D виробництва компанії Quectel

Найменування вивода	Номер вивода	Опис
GND	1, 10, 12, 28	Загальний вивід GND.
TXD/SPI_CLK	2	Передача даних UART / тактування SPI
RXD/SPI_CS	3	Прийом даних UART / вибір веденого пристрою SPI.
1PPS	4	One pulse per second. Синхронізується по наростаючому фронту, ширина імпульсу становить 100 мс.
NSTANDBY	5	Перехід в режим очікування.
NC	6, 7, 9, 15, 24	Зарезервовані.
VCC	8	Живлення мікросхеми.
RF_IN	11	Вхід RF, характеристичний опір 50 Ом.
LNA_EN	13	Управління живленням для зовнішньої антени в режимі очікування.
VCC_RF	14	Живлення для зовнішніх RF-компонентів, наприклад, зовнішньої активної антени або LNA. $VCC_{RF} \approx VCC$.
I2C_SDA	16	Дані I2C.
I2C_SCL	17	Тактування I2C.
INT	18	Зовнішнє переривання
AP_REQ	19	Обробка запитів процесора додатків.
RDY	20	У режимі хоста RDY використовується разом з AP_REQ і розглядається як сигнал стану / готовності.
REQ	21	Контроль запитів хоста. Повідомляє процесору додатків, коли дані доступні в модулі.
RTS/SPI_MISO	22	Готовність до відправки UART / вихід ведучого, вхід веденого SPI.
CTS/SPI_MOSI	23	Готовність до прийому UART / вхід ведучого, вихід веденого SPI.
BOOT	25	Налаштування режиму запуску модуля.
SWDIO	26	Дані порту Serial Wire Debug.
SWCLK	27	Тактування порту Serial Wire Debug.

Таблиця А.2

Регулятор SGM2019-1.8 виробництва компанії SGMICRO

Найменування вивода	Номер вивода	Опис
IN	1	Вхід. Напруга живлення може становити від 2,5 В до 5,5 В.
GND	2	Загальний вивід GND.
EN	3	Вхід виключення. Низький логічний рівень знижує струм живлення до 10 нА. Підключили IN для нормальної роботи.
FB	4	Тільки версія з регульованою напругою. Використовується для установки вихідної напруги пристрою.
OUT	5	Вихідна напруга 1,8 В.

Таблиця А.3

МШУ BGU8006 виробництва компанії NXP Semiconductors

Найменування вивода	Номер вивода	Опис
GND_RF	1	Вхід. Напруга живлення може становити від 2,5 В до 5,5 В.
RF_IN	2	Вхід для сигналу з антени.
ENABLE	3	Вхід дозволу.
GND	4	Загальний вивід GND.
Vcc	5	Живлення мікросхеми.
RF_OUT	6	Вихід для підключення до модуля GNSS

Таблиця А.4

МЦУ PIC18F26K80 виробництва компанії Microchip

Найменування вивода	Номер вивода	Опис
MCLR	1	Вхід скидання мікросхеми в початковий стан.
RA0-RA5	2,3,4,5,7	Цифрові входи / виходи.
Vcap	6	Підключення конденсатора зовнішнього фільтра.
VSS	8,19	Загальний вивід GND.
OSC1	9	Вхід кварцового резонатора.
OSC2	10	Вихід кварцового резонатора
RC0-RC7	11,12,13, 16,17,18	Цифрові входи / виходи.
SCL	14	Синхронний послідовний ввід / вивід годин для режиму I2C.

Продовження таблиці А.4

Найменування вивода	Номер вивода	Опис
SDA	15	Вхід / вихід даних I2C.
RC0-RC7	11,12,13, 16,17,18	Цифрові входи / виходи.
VDD	20	Вхід напруги живлення +5.
RB0-RB7	21,22,25, 26,27,28	Цифрові входи / виходи.
CANTX	23	CAN-шина TX (передача).
CANRX	24	CAN-шина RX (прийом).

Таблиця А.5

CAN-трансивер T1F1051 виробництва компанії NXP

Найменування вивода	Номер вивода	Опис
TXD	1	Вхід даних
GND	2	Загальний вивід GND.
VCC	3	Напруга живлення +5
RXD	4	Вихід
NC	5	Немає з'єднання
CANL	6	Лінія шини CAN низького рівня
CANH	7	Лінія шини CAN високого рівня
S	8	Вхід управління режимом очікування

Таблиця А.6

Дисплей JXD1601A - виробництва компанії Goodview LCD

Найменування вивода	Номер вивода	Опис
VSS	1	Загальний вивід GND.
VDD	2	Напруга живлення +5.
V0	3	Джерело живлення для LCD -драйвера.
RS	4	Вхід скидання в початковий стан.
R/W	5	Режим читання / запису.
E	6	Сигнал дозволу.
DB0-DB7	7,8,9,10, 11,12,13, 14	Шина даних.
LED+	15	Потужність підсвічування +5 В.
LED-	16	Потужність підсвічування 0 В.

Таблиця А.7

МЦУ PIC18F46K80 виробництва компанії Microchip

Найменування вивода	Номер вивода	Опис
MCLR	1	Вхід скидання мікросхеми в початковий стан.
RA0-RA5	2,3,4,5,7	Цифрові входи / виходи.
Vcap	6	Підключення конденсатора зовнішнього фільтра.
RE0-RE2	8,9,10	Цифрові входи / виходи.
VDD	11,32	Вхід напруги живлення +5.
VSS	12,31	Загальний вивід GND.
OSC1	13	Вхід кварцового резонатора.
OSC2	14	Вихід кварцового резонатора
RC0-RC7	15,16,17, 24,25,26	Цифрові входи / виходи.
SCL	18	Синхронний послідовний ввід / вивід годин для режиму I2C.
RD0-RD7	19,20,21, 22,27,28, 29,30	Цифрові входи / виходи.
SDA	23	Вхід / вихід даних I2C.
RB0-RB7	33,34,37, 38,39,40	Цифрові входи / виходи.
CANRX	36	CAN-шина RX (прийом).
CANTX	35	CAN-шина TX (передача).

Таблиця А.8

Буфер MC74HC541A - виробництва компанії ON Semiconductor

Найменування вивода	Номер вивода	Опис
OE1,OE2	1,19	Дозвіл виходу.
A1-A8	2,3,4,5, 6,7,8,9	Входи вводу даних
GND	10	Загальний вивід GND.
Y1-Y8	11,12,13, 14,15,16, 17,18	Неінвертуючі виходи.
VCC	20	Вхід напруги живлення +5.

Текст програми імітаційного моделювання багатозначної CDMA-АЛС

```

% частота и период дискретизации
Fs = 40000;
Ts = 1/Fs;
% несущая частота
Fn = 290;
Sx = [1 0 1 0]; % передаваемое сообщение
Wol = [1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0]; % код Уолша
Wol1 = [1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1]; % код Уолша соседнего канала
Nw = length(Wol);
Ns = length(Sx);
Nch = Nw*Ns;
Sch = (1:Nch)*0;
for i = 1:Ns
    for j = 1:Nw
        Sch(16*(i-1)+j) = xor(Sx(i),Wol(j));
    end
end

%
Fm = 15;
Kch = 16;
Fch = Fm*Kch;

% длина одного символа
N2 = round(Fs/Fch);

% Формирование фазо-манипулированного сигнала
M = length(Sch); % число входных символов
% длина входного сигнала
N = N2*M;
signal = (1:N)*0;

% определение входного ФМн сигнала
for k = 1:M
    % определение фазы для каждого символа
    Fase = pi*Sch(k);
    for m = 1:N2
        signal(m+(k-1)*N2) = sin(2*pi*Fn*Ts*(m-1)+Fase);
    end
end

noise1 = (1:N)*0;
signal1 = (1:N)*0;
Up1 = 1;
Fp1 = 300;
noise2 = (1:N)*0;
Up2 = 5;
Fp2 = 250;
for i = 1:N
    noise1(i) = Up1*sin(2*pi*Fp1*Ts*(i-1));
    noise2(i) = Up2*sin(2*pi*Fp2*Ts*(i-1));
    signal1(i) = signal(i)+noise1(i)+noise2(i);
end

% Демодуляция
% определение массива корреляционной функции
Qs1 = 1:N;
Qs2 = 1:N;
% вектор выходных символов
Syw = (1:M)*0;
for k = 1:M
    % определение первой точки корреляционной функции
    Qs1(1+(k-1)*N2) = 2*signal1(1+(k-1)*N2)*sin(0)/N2;
    Qs2(1+(k-1)*N2) = 2*signal1(1+(k-1)*N2)*sin(pi)/N2;
    for m = 2:N2
        Qs1(m+(k-1)*N2) = Qs1(m-1+(k-1)*N2) +
        2*signal1(m+(k-1)*N2)*sin(2*pi*Fn*Ts*(m-1))/N2;
        Qs2(m+(k-1)*N2) = Qs2(m-1+(k-1)*N2) +
        2*signal1(m+(k-1)*N2)*sin(2*pi*Fn*Ts*(m-1)+pi)/N2;
    end
end

```

```

        if Qs2(k*N2)>Qs1(k*N2)
            Syw(k) = 1;
        else
            Syw(k) = 0;
        end
    end
end
h = 8;
Sy = 1:Ns;
Qw = (1:Nch)*0; % массив корреляционной функции
for i = 1:Ns
    Qw(16*(i-1)+1) = xor(Syw(16*(i-1)+1),Wol(1));
    for j = 2:Nw
        Qw(16*(i-1)+j) = Qw(16*(i-1)+j-1) + xor(Syw(16*(i-1)+j),Wol(j));
    end
    if Qw(16*i) >= h
        Sy(i) = 1;
    else
        Sy(i) = 0;
    end
end
end
% Графики
time = ((1:N)-1)*Ts; % вектор временных отчетов
% Передаваемое сообщение
message = (1:N)*0;
Nm = N/Ns;
for i = 1:Ns
    for j = 1:Nm
        message(j+(i-1)*Nm) = Sx(i);
    end
end
end
plot(time,message);
% После расширения спектра
Nmch = N/Nch;
mes_ch = (1:N)*0;
for i = 1:Nch
    for j = 1:Nmch
        mes_ch(j+(i-1)*Nmch) = Sch(i);
    end
end
end
figure;
plot(time,mes_ch);
% После модуляции
figure;
plot(time,signal);
% Помеха
figure;
plot(time,noise);
% Сигнал плюс помеха
figure;
plot(time,signal1);
% После интегратора (приемник)
integr = (1:N)*0;
for i = 1:Nch
    for j = 1:Nmch
        integr(j+(i-1)*Nmch) = Qw(i);
    end
end
end
figure;
plot(time,integr);

% Полученное сообщение
output = (1:N)*0;
for i = 1:Ns
    for j = 1:Nm
        output(j+(i-1)*Nm) = Sy(i);
    end
end
end
figure;
plot(time,output);

```

Модель навігаційного пристрою безпеки

```
% этапы выходов
target_0 = 0;
target_1 = 100;
target_2 = 200;
target_3 = 300;
target_4 = 400;
target_5 = 500;
target_6 = 600;
target_7 = 700;
target_8 = 800;
target_9 = 900;
target_10 = 1000;
% этапы входов (широта - градусы, минуты, секунды, долгота - градусы, минуты, секунды)
P0 = [48.443496 34.825815];
P1 = [48.443821 34.827080];
P2 = [48.443979 34.828414];
P3 = [48.444013 34.829769];
P4 = [48.443908 34.831114];
P5 = [48.443667 34.832423];
P6 = [48.443285 34.833649];
P7 = [48.442793 34.834783];
P8 = [48.442322 34.835937];
P9 = [48.441907 34.837140];
P10 = [48.441627 34.838429];
P = [P0.' P1.' P2.' P3.' P4.' P5.' P6.' P7.' P8.' P9.' P10.']; % массив входных образцов
T = [target_0 target_1 target_2 target_3 target_4 target_5 target_6 target_7 target_8 target_9 target_10]; % массив выходных образцов
PR1 = [0 0]; % вектор минимальных значений входов
PR2 = [90 180]; % вектор максимальных значений входов
M = [PR1; PR2];
PR = M.'; % массив граничных значений входных сигналов
% Создание нейронной сети
net = newrbe(P,T);
```

Матрица Адамара

$$H_{16} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$