

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

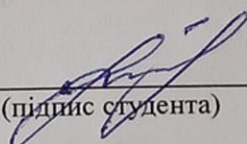
Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

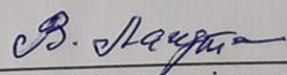
на тему: Моделювання ефективності пропускнуєї спроможності залізничної лінії

за освітньою програмою «Автоматика та автоматизація на транспорті»
зі спеціальності: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Виконав: студентка групи АТ20160

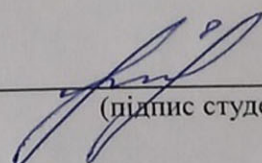
 / Анна МАЛЯРЕНКО /
(підпис студента)

Керівник: доцент кафедри АТ

 / Василь ЛАГУТА /
(підпис керівника)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень
з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент


(підпис студента)

Дніпро – 2023 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies
Faculty of Computer Technologies and Systems
Department of Automation and Telecommunication

Explanatory Note

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Modeling of the efficiency of the carrying capacity of the railway line
according to educational curriculum «Automatics and automation on transport»
in the Specialty: 151 Automatics and computer-integrated technologies

Done by the student of the group AT20160

/Anna Maliarenko /

Scientific Supervisor: associate professor

/ Vasyl Laguta /

Dnipro – 2023

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем
Кафедра: Автоматика та телекомунікації
Рівень вищої освіти: Перший (бакалаврський)
Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті
Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

студенту _____

Маляренко Анна

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Моделювання ефективності пропускнуєї спроможності залізничної лінії

Керівник роботи: Лагута, Василь Васильович, к.т.н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

"25 "жовтень 2022 р. № 1093-ст

2. Строк подання студентом роботи: 25.05.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Експлуатаційні характеристики залізничної лінії

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: розглянути системи забезпечення безпеки руху поїздів: КЛУБ,

АЛС

4.2 Основна частина: описати призначення і принцип роботи АЛС-АРШ; теоретичні

основи з розрахунку систем масового обслуговування; виконати математичне моделювання системи автоматичного регулювання швидкості за початковими даними

5. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Аналітична частина	Лагута В.В., доцент		
Основна частина	Лагута В.В., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	28.02.2023	
2	1 Системи забезпечення безпеки руху поїздів 1.2 КЛУБ – призначення та структура. 1.3 Принципи забезпечення надійності та функцій безпеки апаратури КЛУБ-У. 1.4 Системи автоматичної локомотивної сигналізації	28.03.2023	
3	2 Моделювання системи автоматичного регулювання швидкості 2.1 Призначення і принцип роботи АЛС-АРШ. Структурна схема АЛС-АРШ 2.2 Моделювання систем масового обслуговування 2.3 Розробка математичної моделі системи автоматичного регулювання швидкості	25.04.2023 15.05.2023	
4	Висновки	23.05.2023	
5	Перелік посилань	23.05.2023	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	25.05.2023	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

(підпис)

Анна МАЛЯРЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Василь ЛАГУТА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки:

- 62 сторінки,
- 5 рисунків,
- 17 джерел використаної літератури.

Ключові слова:

Автоматична локомотивна сигналізація, автоматичне регулювання швидкості, рівняння Колмогорова, математична модель, граф станів системи інтервального регулювання, марковські процеси

Завдання дипломної роботи: описати призначення і принцип роботи АЛС-АРШ; викласти основні теоретичні основи з розрахунку систем масового обслуговування; виконати математичне моделювання оцінки ефективності пропускної спроможності залізничної лінії.

Мета роботи – розробка математичної моделі оцінки ефективності пропускної спроможності залізничної лінії як системи масового обслуговування, враховуючи надійність системи інтервального регулювання руху поїздів та виконання розрахунку показника ефективності залізничної лінії за математичною моделлю.

В першому розділі виконано аналіз систем забезпечення руху поїздів в Україні та зарубіжжі, визначено принципи забезпечення надійності та функцій цих систем і їх апаратури.

В другому розділі створено математичну модель оцінки ефективності пропускної спроможності залізничної лінії на основі стаціонарних марковських процесів з урахуванням надійності системи інтервального регулювання руху поїздів, виконано розрахунок показника ефективності системи.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні та дослідженні систем залізничної автоматики та зв'язку (СЗАЗ).

Матеріали роботи застосовуються в учбовому процесі університету в дисциплінах «Теорія надійності та діагностування» та комп'ютерні методи моделювання систем залізничної автоматики та зв'язку.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Системи забезпечення безпеки руху поїздів	11
1.1. Аналіз існуючих систем забезпечення руху поїздів в Україні та зарубіжжі	11
1.2. КЛУБ – призначення та структура	27
1.3. Принципи забезпечення надійності та функцій безпеки апаратури КЛУБ-У	32
1.4. Системи автоматичної локомотивної сигналізації	38
1.5. Висновки за розділом	40
2 Моделювання системи автоматичного регулювання швидкості	41
2.1 Призначення і принцип роботи АЛС-АРШ.	
Структурна схема АЛС-АРШ	41
2.2 Моделювання систем масового обслуговування	46
2.3. Рівняння Колмогорова. Граничні ймовірності стани	50
2.4 Розробка математичної моделі системи автоматичного регулювання швидкості	54
2.5. Висновки за розділом	57
Висновки	58
Перелік посилань	59
Додаток	61

ВСТУП

Актуальність роботи. Забезпечення безпеки руху поїздів – головна умова експлуатації залізниці. Усі технічні заходи на залізниці повинні забезпечувати безпечний та безперебійний рух поїздів. Безпека досягається, утриманням у справному стані всі залізничні споруди, колії, обладнання та механізми. Забезпечення безпеки здійснюється за допомогою систем діагностики та контролю стану всіх технічних засобів електропостачання, утримання та ремонту, впровадження нових і досконалих конструкцій, впровадженню доцільних економічних та організаційних заходів тощо. Вдосконалення засобів безпеки в даний час необхідне з точки зору технічної складової. Європейський комітет із залізничних пристроїв UIC продовжує створення континентальної системи управління поїздів «ETCS», завданнями якої є підвищення рівня безпеки, виключення можливості виїзду складу на зайняту ділянку та перевищення швидкості.

Тема дипломної роботи пов'язана з задачею забезпечення безпеки руху поїздів.

Мета роботи – розробка математичної моделі оцінки ефективності пропускної спроможності залізничної лінії як системи масового обслуговування, враховуючи надійність системи інтервального регулювання руху поїздів та виконання розрахунку показника ефективності залізничної лінії за математичною моделлю.

Методи дослідження – теорія масового обслуговування, математична статистика, теорій ймовірностей, математичний аналіз, теорія лінійних автоматичних систем, теорія надійності.

Практична значимість – запропонований метод може бути використано для визначення ефективності пропускної спроможності залізничної лінії з метою підвищення безпеки руху поїздів.

Використання більш надійних систем, своєчасна заміна технічно та морально застарілих приладів дозволяє підвищити безпеку руху на залізниці.

Але найчастіше суттєвою причиною порушення безпеки руху є людський фактор, що виявляється у недостатньому рівні професіоналізму працівників. Тому найважливішим заходом у підвищенні безпеки є якісний облік та аналіз випадків порушення безпеки руху, завданням якого є виявлення видів та типів небезпечних відмов технічних засобів та помилок робітників. Безпека руху поїздів до 1993 р. базувалася на спільному використанні систем автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу (АЛСН) та систем автоблокування. Однак через низьку інформативність системи АЛСН та обмеження функціональних можливостей, призвело до необхідності використовувати додаткові пристрої безпеки, таких як пристрій контролю пильності машиніста. Для заміни АЛСН та додаткових пристроїв забезпечення безпеки, у 1994 р. було створено комплексний локомотивний пристрій безпеки (КЛУБ). А у 1999 р. завершилося створення вдосконаленої версії КЛУБ, під назвою (КЛУБ-У) – уніфікований комплексний локомотивний пристрій безпеки. Ця система з 2002 р. використовується як основний пристрій забезпечення безпеки руху поїздів залізницями. 147 Вона поєднує в собі функції автостопу, АЛС-пристроїв та скоростемера, також має безліч додаткових можливостей та особливостей. Система КЛУБ-У дозволяє усунути основні причини аварій та зіткнень рухомого складу за рахунок виконання функцій щодо забезпечення безпеки руху поїздів на залізниці [1].

Використання КЛУБ-У істотно знижує ризик заподіяння шкоди пасажирам, персоналу, вантажу, що перевозиться, і рухомому складу внаслідок зменшення випадків перевищення швидкості, мимовільного відходу поїздів і втрати пильності машиністів. Також КЛУБ-У надає можливість зовнішнього втручання в керування поїздом для полегшення керування поїздом. За допомогою команди диспетчера, відправленої спеціальним радіоканалом, можна екстрено зупинити поїзд. Проте в даний час далеко не на всіх поїздах стоїть ця система, оскільки багато з них було випущено ще до впровадження КЛУБ-У. Це підвищує ризик появи аварійних ситуацій на залізниці. Тому

багато поїздів, що проходять капітальний ремонт із продовженням терміну експлуатації, обладнуються системами, КЛУБ-У та САУТ-ЦМ/485.

Система автоматичного керування гальмуванням поїздів (САУТ), являє собою систему, призначену для автоматичного керування гальмуванням поїздів, обладнаних трьох або чотиризначним автоблокуванням або напіваавтоблокуванням. Забезпечує обмеження швидкості руху поїздів, залежно від відстані до кінця блоку ділянки, допустимих швидкостей руху, також наведеного ухилу та локомотивного світлофора. Інформація передається на локомотив дорожніми пристроями. Швидкість руху обмежується шляхом автоматичного відключення тяги та увімкнення гальм поїзда. Існує безліч модифікацій САУТ, останньою є САУТЦМ/485, побудована на мікропроцесорі Atmel. Функції прийому та обробки різних груп сигналів рознесені по блоках. Зв'язок між блоками здійснюється за допомогою інтерфейсу RS-485. САУТ ЦМ/485 є найбільш сучасною та надійною модифікацією САУТ. Заміна більш ранніх модифікацій (САУТ) викликана тим, що багато частин цієї системи за багато років експлуатації зазнали безліч переробок та доробок та змін в елементній базі. До недоліків САУТ можна віднести те, що один комплект містить більше десяти окремих блоків, з'єднаних безліччю кабелів. Все це збільшує ймовірність виникнення несправностей і відмов у роботі [2, 3].

У новій модифікованій системі САУТ-ЦМ/485 виправлено велика кількість недоліків старої, при цьому вона має низку особливостей та переваг. Апаратура САУТ-ЦМ/485 може взаємодіяти із пристроєм безпеки КЛУБ-У. При спільному використанні КЛУБ-У і САУТЦМ/485 знижується кількість перевірок пильності машиніста, у разі перевищення швидкості екстрене гальмування замінюється ступенем автоматичного гальмування. Це покликане полегшити роботу машиніста. Незалежна реєстрація дозволяє прискорити процес діагностики при виникненні несправностей. Варто відзначити і особливість пристроїв КЛУБУ і САУТ-ЦМ/485. Їх обслуговування та ремонт, вимагають від персоналу спеціальної підготовки та навичок, вивчення посібника з експлуатації недостатньо, ремонт та обслуговування дозволено

лише після навчання на підприємстві-виробнику. Спочатку КЛУБ-У розроблялася як основна складова системи регулювання руху. Під час створення сучасних систем забезпечення безпеки передбачається, що у поїздах є система КЛУБ-У чи його аналоги [3].

Удосконалення КЛУБ-У передбачає насамперед підвищення стійкості прийому сигналів АЛСН. Необхідно проведення порівняльного аналізу варіантів прийому сигналів АЛС системою КЛУБ-У за умов великого спотворення корисного сигналу, підвищеної асиметрії тягового струму, за дотримання правил забезпечення безпеки. Намічено вдосконалення алгоритмів виявлення фактичної швидкості для запобігання випадкам боксування колісних пар. Має бути розробити нове програмне забезпечення, для виявлення за сигналами наявності юза і боксування і формувати сигнали на вимкнення тяги або скасування гальмування. Спосіб роботи систем слід зробити такими, щоб у випадках автостопне гальмування замінювалося службовим. Зміна програмно-апаратної частини має проводитися стосовно тим ситуаціям, коли це можливо і узгоджено з вимогами безпеки. Наприклад, зниження швидкості у місцях, де вона обмежена. Екстрене гальмування слід застосовувати лише тоді, коли службове гальмування не справляється. Також при сигналах «КЖ» (Червоно-жовтий) та «червоний» на світлофорі.

Континентальна система управління поїздів «ETCS» система включає три функціональних рівня забезпечення безпеки руху: автоматичне забезпечення безпеки руху з контролем гальмівного шляху, автоматичне управління рухом на лініях з контролем шляху в межах блок ділянок і автоматичне управління рухом на лініях з контролем вільності шляху поїзними засобами[1-3]. UIC – (Міжнародний союз залізниць), пропонує співпрацювати у створенні системи ETCS, щоб узгодити єдині підходи, стандарти, технічні вимоги та специфікації, для забезпечення безпеки транзиту пасажирів і європейських вантажів територією України.

1. СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ

1.1. Аналіз існуючих систем забезпечення руху поїздів в Україні та зарубіжжі

В даний час найбільш досконалі системи забезпечення безпеки руху поїздів (системи інтервального регулювання руху поїздів – СІРДП) застосовують на лініях швидкісного руху. Як СІРДП на них використовуються системи автоматичної локомотивної сигналізації точкового (АЛСТ) або безперервного (АЛСН) типу з автоматичним контролем швидкості, які складаються зі стаціонарних та поїзних (бортових) пристроїв. Нижче розглядаються СІРДП, що використовуються на залізницях різних країн.

Франція. У 80-ті роки на мережі залізниць Франції (SNCF) з'явилися високошвидкісні лінії, де поїзди розвивали швидкість до 300 км/год, і допускався мінімальний інтервал попутного прямування - 4 хв. Основним засобом сигналізації на цих лініях є система АЛС безперервного типу TVM 300. Так, на лінії «Париж – Ліон» (довжина 390 км, максимальна швидкість 270 км/год) відсутні світлофори для підлоги. Сигнали АЛС передаються поїзду від рейкових ланцюгів. Як несучі для парного шляху використані частоти 1700 і 2300 Гц, для непарного – 2000 і 2600 Гц. Несучі частоти модулюються низькими в діапазоні 103-29 Гц. При кроці 1,1 Гц можна отримати 18 частотно-модульованих сигналів, відповідних різним допустимим значенням швидкості руху.

У зв'язку з будівництвом "Північної" високошвидкісної лінії (максимальна швидкість руху поїздів 320 км/год, мінімальний інтервал попутного прямування 3 хв) було вирішено створити для цієї лінії більш досконалу систему сигналізації типу TVM 430. Системи TVM 300 і TVM 430 мають такі особливості :

- управління рухом поїздів на високошвидкісній лінії здійснюється з єдиного центру, до функцій якого входить: контроль за рухом поїздів;

дистанційне перемикання стрілок та сигналів; дистанційне керування тяговими підстанціями;

- по дорозі через кожні 20 км встановлюються блоки контролю швидкості;
- машиністу постійно виводиться на локомотивне табло значення припустимої швидкості руху, яке передається за допомогою частотно-модульованих сигналів, що посиляються в безстикові рейкові ланцюги типу VM 71;

- машиністу дозволяється здійснювати самостійне керування поїздом, коли фактична швидкість руху поїзда менша за допустиму.

Більш жорсткі вимоги до системи сигналізації на «Північній» високошвидкісної лінії, зумовили і деякі її особливості. Так, скорочення мінімального інтервалу попутного прямування поїздів до 3 хв призвело до зменшення довжини рейкових ланцюгів до 1500 м. Крім того, TVM 430 передбачено більшу кількість градацій значень допустимих швидкостей (320, 300, 270, 230, 170, 0 км/год. Поїзди, які потрапляють на таку високошвидкісну магістраль із звичайних ліній, де встановлені градації допустимих швидкостей 160 і 200 км/год, можуть рухатися, використовуючи градації TVM 430 відповідно 170 і 230 км/год.

З метою зменшення впливу інерційності системи, що виявляється при зміні сигнальних показань, TVM 430 передбачено, що коли індикація значення допустимої швидкості не мигає, то вона інформує машиніста про те, що і на наступному блок-дільниці не очікується зниження швидкості. При миготливій індикації машиніст повинен приготуватися до можливого зниження швидкості на наступному блок-дільниці. У системі TVM 430 застосовується жорсткіший контроль швидкості руху поїзда, ніж TVM 300. Безперервно проводиться порівняння фактичної швидкості поїзда (з прив'язкою до розташування поїзда дільниці) зі значенням швидкості, закладеним в бортовому комп'ютері. Якщо допустиме значення виявляється перевищеним, відбувається екстрене гальмування. У TVM 430 передбачена можливість збільшення кількості інформації, що передається зі шляху на поїзд. Це досягається завдяки тому, що

інформація на поїзд передається 27-бітними телеграмами. Наявність "1" або "0" у кожному розряді телеграми визначається за наявністю або відсутністю модулюючої частоти у відповідному такті сигналу, що приймається. Кожна телеграма передає бортовому комп'ютеру інформацію про залізничну адресу (координат на лінії) та швидкість, що дозволяє бортовому комп'ютеру визначити:

- значення допустимої швидкості, що індикується на дисплеї машиніста;
- режим індикації (миготливий/миготливий);
- максимальне значення допустимої швидкості на даній блок-дільниці.

Стационарний комп'ютер, що формує телеграми, забезпечує щомиті посилку кількох телеграм у кожен рейковий ланцюг. З такою ж періодичністю відбувається обробка телеграм, що приймаються бортовим комп'ютером. Центральний стаціонарний пристрій складається з двох спеціалізованих комп'ютерів. Один формує та передає інформацію в рейкові ланцюги лінії, інший знаходиться у гарячому резерві. Кожен із спеціалізованих комп'ютерів має по два процесори, що працюють паралельно. Якщо інформація на виходах обох процесорів основного комп'ютера не ідентична, управління передається резервному комп'ютеру.

Бортове обладнання системи TVM 430 включає дві приймальні котушки, встановлені над рейками перед першої віссю локомотива. Сигнали, що приймаються котушками з рейок, надходять на два незалежні входи сигнального процесора. Блок порівняння процесора зіставляє результати на виходах двох незалежних каналів аналого-цифрової обробки. У разі збігу результатів прийняте повідомлення надходить для подальшого виконання та видається на дисплей машиніста. Надійність та безпека роботи TVM 430 ґрунтуються на застосуванні перешкодостійкого кодування інформації, повторній передачі телеграм та дублюванні апаратури. Система TVM 430 пройшла сертифікацію безпеки.

Німеччина та Австрія. На лініях залізниць Німеччини та Австрії для забезпечення безпеки руху поїздів при швидкостях руху понад 160 км/год з

початку 80-х років. було розпочато впровадження системи АЛС безперервного типу (АЛСН), у якій передачі інформації на локомотиви використовуються індуктивні шлейфи, що укладаються вздовж шляху. Система АЛСП, що отримала назву LZB, забезпечує: безперервний контроль швидкості руху поїзда; автоматичне зниження швидкості поїзда на ділянках її обмеження; автоматичну зупинку поїзда перед сигналом, що забороняє рух; можливість руху кожного поїзда з оптимальною швидкістю; підтримання безпечної відстані між поїздами; можливість двостороннього обміну інформацією між локомотивом та центром управління. У системі LZB інформація на поїзд передається по шлейфу на робочій частоті 36 кГц, а у зворотному напрямку – на робочій частоті 56 кГц. Довжина кодового слова стала і становить 83,5 біт; швидкість передачі коду – 1200 Бод.

На початку 80-х років фірма Siemens розробила для залізниць Німеччини та Західної Європи нове сімейство систем інтервального регулювання - ZUB-100 (рис.1.2) на базі процесора 8085. Заміна аналогової цифрової техніки дозволила зменшити розміри апаратури, скоротити її енергоспоживання і знизити собівартість виробів. Ряд модифікацій сімейства (ZUB-1H, ZUB-121, ZUB-122, ZUB-123) призначений для магістральних залізниць, інші (ZUB-40, ZUB-122) - для міських залізниць і метрополітенів.

Системи інтервального регулювання модифікацій ZUB-110 і ZUB-111 можуть використовуватися на магістральних ділянках, де через довгі перегони різко зростають витрати на кабелі, що зв'язують підлогову апаратуру з постами електричної централізації. У зв'язку з цим побудова підлогової апаратури має свої особливості. У вибраних точках шляху встановлюють передавальні індуктори. Для їх функціонування не потрібно підводити по кабелях напругу живлення. Поїздні антени ZUB-110 та ZUB-111 випромінюють сигнали на частоті 100 кГц, які приймаються колійними індукторами та використовуються як накопичувачі енергії для передачі інформаційних посилок на поїзд. Останні формуються шляхом амплітудної модуляції несучої частоти 100 кГц тональними частотами діапазону 27 - 76 кГц. Використовується система

кодування «2 із 7», що дозволяє передавати на поїзд до двадцяти різних повідомлень. При цьому можливе виявлення помилок, що виникають під впливом перешкод каналу передачі інформації. Підлогова апаратура ZUB-110 та ZUB-111 визначає стан блок-ділянок безпосередньо за величиною сигнальних струмів у рейкових колах. Тому відпадає необхідність у кабельних лініях зв'язку постів електричної централізації з апаратурою рейкових ланцюгів.

Наприкінці 90-х років. фірма Siemens приступила до створення нового сімейства систем ZUB-200, що володіє розширеними функціональними можливостями та задовольняє більш високі вимоги щодо безпеки. Бортовий пристрій ZUB-200 побудований за двоканальною схемою. Ядро кожного каналу включає обчислювальний блок SIMIS-3116 із процесором 80486. Крім того, до складу ядра входять: блок обробки переривань, блок пам'яті та схеми сполучення (оптоелектричні та релейні). Усі пристрої обчислювального блоку об'єднані загальною паралельною шиною MES80. Для зв'язку обчислювального каналу з датчиками шляху та швидкості (осьовими датчиками та радарамі) застосовується послідовна передача інформації багатофункціональною транспортною шиною MVB, або за допомогою бортової інформаційної системи IBIS, або послідовними інтерфейсами RS232 і RS485.

Обмін інформацією між бортовим пристроєм ZUB-200 і колійним обладнанням може здійснюватися як в діапазоні тональних частот (ZUB-212), так і за допомогою телеграм, що передаються частотним каналом 850 кГц (ZUB-222), або частотним каналом Євробаліз (ZUB- 242). Для цієї мети бортові пристрої, крім стандартної апаратури ZUB-200 фірми Siemens, включають приймально-передавальні блоки для роботи по каналу Євробаліз або на частоті 850 кГц. ZUB-222 допускає рух зі швидкостями до 230 км/год, а ZUB-242 – зі швидкостями до 350 км/год.

До складу бортової апаратури ZUB-212 входить канал індуктивного зв'язку IMU. На частоті 67,4 кГц, що несе, на поїзд передається інформація, пов'язана з безпекою руху. До складу бортового пристрою входять два паралельні канали з

цифровими сигнальними каналами, процесорами, які здійснюють процес фільтрації вхідних сигналів. Тільки після перевірки ідентичності інформації в обох каналах вона приймається до виконання. Відома інформація передається з поїзда на шлях на несучій частоті 91 кГц.

У ZUB-242 та ZUB-262 обмін інформацією між шляхом та поїздом забезпечується за стандартом ETCS. Дорожні Євробалізи встановлюються в середині міжколії. Розрізняють автономні балізи, що передають постійну інформацію, та балізи, що передають оперативну сигнальну інформацію. Останні одержують її від підлогових керуючих пристроїв. В автономних базах інформація запрограмована жорстко і передається у вигляді телеграм довжиною 341 або 1023 біта. Причому корисна інформація міститься там відповідно в 210 або 850 бітах.

Обидва типи баліз отримують енергію від антен поїзда, що проходить, які посилають сигнал потужністю близько 20 Вт на частоті 27,115 МГц. Заряджаючи цією енергією, колійна баліза посилає на поїзд телеграму на частоті 4,24 мГц як FSK-модульованого сигналу. Швидкість передачі становить близько 565 кбіт/с. Для підвищення помехозащищенности інформації, що передається, використовується BCH-код (Bose-Chandhuri-Nosquengem) довжиною 750 біт.

Бортові антени пов'язані коаксиальним кабелем з поїзними пристроями прийому та обробки інформації, які одночасно виконують функції контролю та діагностики всього каналу передачі. Геометрія та розташування дорожніх балів та бортових антен дозволяє забезпечити надійну передачу інформації при швидкостях руху до 350 км/год (при довгих телеграмах) та до 500 км/год (при коротких телеграмах). Система передачі інформації на базі Євробаліз відповідає вимогам для швидкісних міжнародних магістралей.

В даний час Німецькі залізниці форсують розробку нової системи АЛС з розширеними функціональними можливостями з використанням обміну інформацією каналу радіозв'язку (системи FZB). Система FZB включає

(рис.1.3): центральний пост FZB, бортові пристрої FZB, базову систему радіозв'язку та балізи.

На центральному посту FZB безперервно підтримується динамічна модель поточної ситуації на контрольованій ділянці. Постійна складова інформації береться з дорожнього атласу ділянки. Змінна складова інформації надходить з постів ЕЦ (дані про положення стрілок і сигналів) та від поїздів (дані про їхнє місцезнаходження). На основі оцінки поточної поїзної ситуації центральний пост FZB формує для кожного конкретного поїзда команду, що дозволяє подальший рух. Команда передається на поїзди каналами радіозв'язку через базову систему радіозв'язку (GSM-R, ISDN). Ця команда не тільки дозволяє рух, а й надає машиністу інформацію про координати найближчої мети (наприклад, станції) і час се досягнення.

Бортовий пристрій зіставляє ці дані з інформацією від бортових пристроїв вимірювання шляху та швидкості, а також з інформацією, що отримується від дорожніх бал. Останні дозволяють уточнити координату шляху та отримати значення припустимої швидкості. В результаті бортовий комп'ютер будує швидкісну криву, відпрацьовуючи яку поїзд прибуде до наміченого пункту у призначений час.

Безперервний вимір шляху, часу та фактичної швидкості дозволяє машиністу контролювати рух поїзда та своєчасно компенсувати його відхилення від програмної кривої. Якщо при цьому фактична швидкість поїзда починає перевищувати допустиму, формуються попереджувальні світловий і звуковий сигнали. Якщо машиніст не знижує швидкість поїзда після формування цих попереджень, бортовий пристрій FZB видає команду автоматичного примусового гальмування, що впливає на виконавчі ланцюга поїзда.

При наближенні поїзда до мети на задану відстань програмно виробляється повідомлення про «наближення», яке каналами радіозв'язку передається на центральний пост FZB. Отримавши це повідомлення, центральний пост FZB формує необхідний запит посту ЕЦ, наприклад, встановлення маршруту

прийому поїзда на станцію. Кожна частина системи FZB виконує, крім керівників, також діагностичні функції, що дозволяє своєчасно виявляти помилки і локалізувати місця їх появи.

У телеграмах, якими обмінюються центральний пост і бортові пристрої системи FZB, поряд з основною (переліченою вище) інформацією може передаватися великий обсяг допоміжної інформації. Так, у телеграмі, що передається з центрального посту на поїзд, серед інших даних, може міститися інформація про допустиму швидкість, довжину, особливості плану та профілю попереду лежачої ділянки, а також вказівки про режими руху поїзда, аж до команд підйому або опускання пантографів. У зворотній телеграмі, що передається з локомотива на центральний пост FZB, поряд з даними про координати поїзда вказується довжина поїзда, його гальмівні характеристики та ін.

Італія. На швидкісній лінії «Рим-Флоренція» (довжина 260 км, максимальна швидкість 260 км/год) збільшено до 9 число команд існуючої системи АЛСН за рахунок використання другий несучої частоти - 178 Гц.

Під час руху швидкісною лінією локомотива, обладнаного 4х-кодовими приймальними пристроями АЛСН (частота 178 Гц не сприймається), на локомотивному світлофорі відтворюються сигнали, відповідні лише цій системі. Будь-яка несправність, що призводить до зникнення частоти 178 Гц, викликає перехід з 9-кодового режиму на 4-кодовий. Зникнення частоти 50 Гц призводить до відсутності коду як при 9-кодовому, так і при 4-кодовому режимах. На поїзді здійснюється порівняння допустимої швидкості та фактичної. При перевищенні допустимої швидкості включається примусове гальмування, яке можна вимкнути кнопкою «Скасувати гальмування» після того, як фактична швидкість стане меншою за допустиму.

Фінляндія та Норвегія. У зв'язку з підвищенням швидкостей до 220 км/год на Фінських Державних залізницях було ухвалено рішення про збільшення числа показань (до 21), що передаються зі шляху на поїзд. Усього на потяг передаються чотири типи сигналів. Два типи цих сигналів (покази основних та

попереджувальних світлофорів) жорстко прив'язані до координати шляху. Третій тип сигналів - показання про віддаленість мети (зупинного пункту), дозволяє машиністу формувати стратегію ведення поїзда, знаючи про передбачувану зупинку вже на відстані до 6000м, тобто п'ять стандартних (по 1200 м) міжсвітлофорних інтервалів від зупинки. 4-й тип сигналів - вказівки про зниження швидкості, повідомляє машиністу інформацію про очікуване короткочасне зниження швидкості при проходженні поїздом стрілочного переведення.

Первинна інформація системи АЛС надходить від електронних постів ЕЦ. Сама система є АЛС точкового типу EB1CAB-900 розробки Шведської фірми АВВ.

До складу EB1CAB-900 входить (рис.1.4) центральний комп'ютер EBILoop (LC), пов'язаний з апаратурою ЕЦ, а також колійні блоки, що складаються з концентраторів (КС), об'єктних контролерів (ОС) та блоків обміну інформацією з балізами (BIS).

Коли центральний комп'ютер LC отримує інформацію від постів ЕЦ, він організовує сеанс зв'язку з пристроями сполучення. Зв'язок здійснюється за протоколом HDLC, швидкість передачі - 19,2 кбіт/с. Спочатку LC посилає циклічну телеграму перевірки лінії зв'язку. Після отримання інформації про цілісність лінії LC посилає телеграму опитування на КС. Після отримання від КС відповідей, що підтверджують їх стан, LC надсилає їм відповідні настановні телеграми, що містять інформацію, яку потрібно передати на поїзд.

Для підвищення безпеки в системі передбачено передачу двох видів телеграм (А та В). Телеграми А і В одна за одною надходять у обраний об'єктний контролер (ОС), де вони обробляються відповідно до програм А і В. Тільки після підтвердження ідентичності інформації, що міститься в обох телеграмах, відповідний сигнал буде переданий у колійні датчики. Ця система АЛС функціонує на Фінських Державних залізницях та залізницях Норвегії.

Іспанія. На швидкісній залізничній магістралі Мадрид-Севілья безпека руху забезпечується системою АЛСН типу LZB. Підлогова частина цієї

системи LZB L72 має дев'ять пов'язаних між собою центрів, кожен із яких отримує необхідну інформацію від відповідної посади мікропроцесорної централізації (МППЦ). Ця інформація дозволяє сформувати необхідні команди, які передаються у вигляді телеграм на поїзди. Для передачі використовують індуктивні шлейфи, укладені між рейками. Бортова антена поїзда приймає сигнал із шлейфу і передає його в бортовий логічний пристрій LZB 80. Система індуктивного зв'язку з поїздом дозволяє забезпечувати надійний обмін інформацією з поїздом при швидкості руху понад 300 км/год [8].

Бортовий логічний пристрій видає машиністу на дисплей інформацію про свідчення підлогових світлофорів, а також ситуацію на ділянці колії довжиною 10 км попереду поїзда. Сюди відносяться: значення допустимих швидкостей, назва найближчих цілей (станцій) та відстані до них, координати місць з обмеженнями швидкості, характеристика шляху у плані та профілі та інша інформація. Виводить ся на дисплей також значення фактичної швидкості поїзда, отриманої від осьових датчиків. Якщо фактична швидкість починає перевищувати допустиму, виробляється сигнал попередження для машиніста. За відсутності реакції з боку машиніста бортова апаратура LZB 80 впливає на ланцюги керування поїздом, викликаючи його автоматичне гальмування.

Для забезпечення високої безпеки та надійності роботи системи LZB її вирішальні блоки (як на шляху, так і на локомотиві) приймають рішення за схемою «два з трьох». Кожен із блоків обробляє вхідну інформацію незалежно в асинхронному режимі і потім передає її у вирішальний пристрій. Останнє виробляє команду лише тому випадку, якщо вихідні сигнали двох із трьох контролерів збіглися.

У системі LZB передбачена також передача інформації через шлейф у напрямку «поїзд-шлях», яка включає відомості про фактичну швидкість поїзда та його координату. Ця інформація надходить до найближчого підлогового центру LZB, а від нього - до найближчих центрів LZB для організації руху. Інформація передається також до центру управління лінією для контролю за

рухом поїздів, своєчасного виявлення відхилень від графіка та прогнозування очікуваної поїзної ситуації.

Загальноєвропейська система. На Європейських залізницях вже є ділянки, обладнані апаратурою Європейської системи керування поїздами ETCS, де передача сигнальної інформації на поїзд здійснюється за допомогою Євробаліз. У той же час для забезпечення можливості безперешкодного руху поїздів, обладнаних системою ETCS, різними Європейськими залізницями, де ще є національні системи АЛС, до складу бортової апаратури введено пристрій EB1CAB2000, розроблений фірмою Bombardier Transportation. Ці системи знайшли своє використання і на залізницях України.

Ядро пристрою EB1CAB2000, що входить до бортової апаратури ETCS, виконує такі функції: керування гальмуванням; вимірювання шляху та швидкості; передача інформації на пульт керування машиніста; реєстрація режимів руху. Крім того, до складу бортового обладнання входять пов'язані з ядром системи універсальної транспортної шині (MVB) спеціальні передавальні модулі (STM). Кожен із STM-модулів перетворює сигнали однієї з національних систем локомотивної сигналізації на стандартні телеграми, прийнятого в системі ETCS формату. Ці телеграми надходять потім в ядро системи, де на підставі інформації про фактичну швидкість поїзда, його координати, план і профіль шляху формується програмна крива швидкості, виконання якої потім контролюється бортовою системою.

У Європі реалізуються десятки проектів із використанням єдиної системи ETCS. Так, наприклад, компанія Alstom включилася до роботи в рамках проекту ERTMS/ETCS на початку 1990-х років. Компанія Alstom розробила сімейство систем ATLAS, орієнтованих застосування на різних залізничних лініях. При цьому система ATLAS 100 відповідає специфікації рівня ETCS 1, ATLAS 200 -- специфікації рівня ETCS 2, ATLAS 300 - специфікації рівня ETCS 3.

ATLAS 100 (і, відповідно, ETCS рівня 1) - це система забезпечення безпеки руху поїздів (ATP-Automatic Train Protection), яка накладається на існуючу

систему сигналізації та безпосередньо з нею пов'язана. Таким чином, ATLAS 100 доповнює наявну національну систему із засобами контролю вільності колії (рейковими ланцюгами та лічильниками осей), світлофорами, постами централізації, засобами зв'язку та центрами диспетчерського управління.

У системі ATLAS 100 електронні модулі (LEU), з'єднані зі світлофорами або системами централізації, передають сигнальні показання в підлогові прийомовідповідачі. Інформація з приймачів зчитується бортовими антенами, якими обладнано кожен поїзд, оснащений пристроями ETCS. Система доповнена засобами сигналізації у кабіні машиніста. Машиніст безперервно отримує інформацію про допустимі швидкості руху, постійні або тимчасові обмеження швидкості, попереду розташовані зупинкові пункти, ухили тощо. При використанні на нових лініях системи ATLAS 200 перестали застосовуватися підлогові сигнали. Це стало можливим завдяки використанню рейкових кіл (або лічильників осей) та передачі функцій регулювання руху поїздів та забезпечення безпеки маршрутів постам централізації. Тепер системи централізації оснащуються апаратурою радіозв'язку з поїздами й утворюють центр блокування з урахуванням радіозв'язку (Radio Blok Centre -- RBC), у якому зосереджені функції управління усією лінією чи групою ліній. RBC перетворює отриману від систем централізації інформацію команди дозволу на рух, які регулярно по радіо передаються на всі поїзди, що знаходяться в зоні дії RBC.

В якості бортового обладнання фірма Alstom постачає так званий європейський комп'ютер для виконання відповідальних функцій (European Vital Computer, EVC) і всі його інтерфейси з поїзними пристроями, такі, як інтерфейс користувача, прилад, що реєструє, антену для зчитування інформації від підлогових приймачів датчиків, систему вимірювання швидкості (пристрою вимірювання пройденого шляху та доплерівський радар), засоби радіозв'язку стандарту GSM-R.

Система ATLAS 400 доповнює сімейство ATLAS для застосування на малодіяльних лініях, які потребують простих та економічних засобів, здатних

окупити вкладені інвестиції. ATLAS 400 має модульну архітектуру, що забезпечує можливість нарощування. Кожен поїзд обладнаний бортовим комп'ютером типу EVC системи ETCS та обмінюється інформацією по радіо з центром керування або станцією на лінії. На кожній станції встановлено комп'ютер (Radio Object Controller, ROC) – об'єктний контролер з виходом у канал радіозв'язку, який обмінюється даними по радіо переважно з пристроями керування стрілками у своїй зоні дії. Центр управління лінією збудовано на базі центру RBC системи ETCS. Система ATLAS 400 видає лише електронний жезл (дозвіл на рух) для кожної ділянки шляху, а також для кожного крайнього положення стрілки.

В ATLAS 400 використовуються модулі з інших систем цього сімейства, що відповідають специфікаціям ETCS рівнів 1 та 2. Так, у бортовому комп'ютері встановлені ідентичні або адаптовані компоненти та пакети програм. Для визначення розташування поїздів є супутникова система глобального позиціонування GPS. В основу ATLAS 400 покладено систему управління та обміну електронними жезлами, що забезпечує безпеку руху поїздів. Поки жезли не видані, вони зберігаються у відповідному RBC. Поїзд отримує дозвіл на рух, якщо комп'ютер отримав по радіо всі необхідні жезли. Протяжність ділянки дії дозволу на рух залежить від розташування інших поїздів. Відповідно по дорозі поїзда відбувається повернення непотрібних більш жезлів одного за іншим до центру RBC. Завдяки цьому стають можливими пересування інших поїздів. Розташування поїздів визначається на основі сигналів від супутників, причому для отримання безпечної інформації про місцезнаходження служить система LOCOPROL. Водночас система ATLAS 400 здатна працювати без засобів супутникового позиціонування. Висловили наміри використовувати систему ETCS залізниці Китаю та Індії. Система ETCS є радикальним кроком уперед у порівнянні з існуючими системами.

Розроблена компанією Alstom концепція розвитку ETCS виходить із того, що у всіх існуючих системах сигналізації поїзд зупиняється, коли не можна з достатньою достовірністю сказати, з якою швидкістю рухався. Це - єдина

причина, з якої не можна було використовувати інформацію про швидкість для скорочення відстані між двома поїздами, що рухаються. Однак у системі ETCS є досить надійна інформація про швидкість руху кожного поїзда. Тому стає можливим скоротити відстань між двома попутними поїздами на величину гальмівного шляху, необхідного (при відомій швидкості руху) попереду поїзду, що йде до повної зупинки. При цьому може використовуватися допуск, величина якого є достатньою для безпечного виконання необхідних функцій.

Японія. На високошвидкісних лінях (ВСЛ) Японських залізниць застосовуються системи АЛС безперервного типу, використовують рейкові ланцюга передачі на поїзд частотних сигналів. Так, базова система АЛС типу 1А функціонує на першій ВСЛ - лінія Токайдо (протяжність 515 км, швидкість руху до 210 км/год). У цій системі сигнальні показання відповідають допустимим швидкостям 210, 160, 110, 70 та 30 км/год. Для виділення корисного сигналу використовують систему модуляції по одній бічній частоті із синхронізацією від джерела сигналу. Кожен блок-ділянка має довжину 3 км і складається із двох стандартних рейкових ланцюгів. Кожному сигнальному показанню відповідає одна частота. Усього використовується чотири несучі частоти, по дві для кожного шляху двоколіїної ділянки.

На ВСЛ наступних років спорудження системи сигналізації модернізовано. На лініях Сан-Іо (довжина 554 км, швидкість руху до 260 км/год), Дзеецу (довжина 270 км, швидкість руху до 260 км/год), Тохоку (довжина 496 км, швидкість руху до 260 км/год) експлуатуються модифікації IS, IB та ID системи АЛС. У цих системах значно підвищено достовірність передачі інформації та збільшено кількість сигнальних показань. Стандартна довжина блок-ділянки зменшена до 1,2 км. Для підвищення надійності блоки підлогової та бортової апаратури мають потрібне резервування.

США. На лініях зі швидкостями вище 160 км/год США використовують системи АЛС безперервного типу, інформація у яких передається по рейковим колам, так само як і в Україні. Так, на ділянці Північно-Східного коридору (Бостон-Нью-Йорк-Вашингтон) запроваджено 9-значну систему АЛС.

Україна. Розвиток систем інтервального регулювання або іншими словами автоматичного блокування (АБ) орієнтовано, здебільшого, на застосування мікропроцесорних засобів. Основним елементом системи АБ служать рейкові кола (РК), що виконують функції колійного датчика в межах перегонів та станцій, та передають первинну дискретну інформацію про стан колійних ділянок, цілісності рейкових ниток. Однак, замість них можуть використовуватись датчики рахунку осей [9]

Більшість залізниць України обладнано релейною системою кодової АБ із застосуванням кодових РК із частотою живлення 25, 50, 75 Гц. Її недоліки, а також причини низької надійності, розглянуті у [2, 3]. Слід відзначити, що багато хто з них викликаний низьким рівнем розвитку науки і техніки в момент розробки системи [10]. Обмежений обсяг інформації про умови руху, низька швидкодія внаслідок застосовуваного коду не дозволяють підвищити швидкість руху; складність процедури переходу на двобічний рух, більша тривалість відновлення пристроїв після відмов перешкоджає підвищенню інтенсивності; відсутність контролю шунту та висока ймовірність аварій при проїзді заборонного свідчення знижують безпеку руху.

Здійснюється впровадження інтелектуальних алгоритмів роботи систем, взаємне ув'язування та координація роботи мікропроцесорних пристроїв на кожному рівні управління та забезпечення руху поїздів [11] Це дозволяє оптимізувати перевізний процес, підвищити його ефективність, а також зменшити обсяг апаратних засобів на станції, знизити вартість будівництва та реконструкції таких систем.

Система мікропроцесорного автоблокування АБТЦ-Ш із тональними рейковими колами та централізованим розміщенням апаратури призначена для забезпечення безпеки руху поїздів на перегонах та є частиною інноваційної системи інтервального регулювання.

Основні функції системи:

- контроль вільності та зайнятості (цілісності) рейкових кіл;
- контроль проходження поїзда;

- формування та передача на локомотив інформації про поїзну ситуацію каналами автоматичної локомотивної сигналізації АЛСН та/або АЛС-ЕН, цифрового радіоканалу (відповідно до вимог);

- передача повідомлення в систему переїзної сигналізації та контроль за її роботою;

- управління сигналами колійних світлофорів (при їх встановленні) зі світлодіодними або ламповими оптичними системами;

- організація та забезпечення безпеки руху поїздів на ділянках із застосуванням рухомих блок-ділень;

- автоматична діагностика пристроїв системи із реєстрацією відмов.

- ефективність системи:

- шафне розміщення апаратури (у 19-дюймових монтажних шафах) дозволяє зменшити площі, які займає обладнання на постах ЕЦ (або в модулях концентрації), і забезпечує більш високу захищеність від електромагнітних впливів;

- зменшення термінів проведення проектних та монтажних робіт;

- скорочення експлуатаційних витрат;

- підвищення надійності функціонування за рахунок резервування основних модулів та елементів;

- формування сигналів АЛСН та АЛС-ЕН без встановлення додаткового обладнання;

- відсутність електромагнітних реле;

- цифрове налаштування параметрів рейкових кіл з АРМ ШН;

- автоматизований вимір параметрів сигналів контролю рейкової лінії, АЛСН та АЛС-ЕН.

Перспективними підвищення безпеки можна назвати системи інтервального регулювання рухом поїздів (ІРДП) із застосуванням супутникових навігаційних систем ГЛОНАСС/GPS [12].

1.2 КЛУБ – призначення та структура

Призначення системи КЛУБ – забезпечення безпеки руху локомотивів та мотор-вагонного рухомого складу (МВПС), запобігання аварійним та передаварійним ситуаціям при русі поїздів шляхом примусового гальмування та зупинки поїзда.

Сфера застосування: на всіх типах локомотивів і МВПС, у тому числі на швидкісних ділянках залізниць з автономною та електричною тягою постійного та змінного струму, обладнаних колійними пристроями автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН), багатозначної автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС-ЕН), системою автоматичного САУТ); на ділянках залізниць, обладнаних системою координатного регулювання руху поїздів з урахуванням цифрового радіоканалу (РК).

Особливості та можливості:

- забезпечення екстреної зупинки поїзда за наказом чергового станції (ДСП) або поїзного диспетчера (ДНЦ), що передається по РК передачі даних, незалежно від дій машиніста;
- виключення руху поїзда після його зупинки без дозволу ДСП або ДНЦ, що передається по РК передачі даних, у тому числі і при підтягуванні до сигналу світлофора, що забороняє.

Технічні характеристики: живлення здійснюється через буферний перетворювач від мережі постійного струму напругою 50, 75, 110 В; споживана потужність - 200 Вт; діапазон робочих температур від мінус 40 до +50 ° С [4].

Система виконана з урахуванням сучасних вимог до завадостійкості та перешкоди для даного класу апаратури, зареєстрована у реєстрі Держстандарту як вимірювач швидкості та тиску; має захист від несанкціонованого відключення електропневмоклапану (ЕПК) ключем, при цьому за відсутності дій машиніста зі зниження швидкості відбувається гальмування після вимкнення ключа ЕПК; забезпечує неможливість проїзду ділянки із забороняючим сигналом світлофора без дозволу ДСП або ДНЦ при устаткуванні станції РК; здійснює контроль спільних дій машиніста та

помічника машиніста при торканні та русі до заборонного сигналу світлофора, тобто забезпечує неможливість торкання на заборонний сигнал без попередніх спільних дій або проводить екстрене гальмування; забезпечує гальмування при перевищенні фактичної швидкості над допустимою швидкістю; виключає мимовільний відхід поїзда (скочування); визначає параметри руху поїзда (координати, швидкість) за інформацією від пристроїв супутникової навігації, електронної карти ділянки та датчиків колії та швидкості ДПС-У, що встановлюються на буксі колісної пари; здійснює прийом із рейкових ланцюгів сигналів автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН), багатозначної автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС-ЕН) за допомогою приймальних котушок КПУ, що встановлюються під локомотивом над рейками; здійснює вимірювання тиску в гальмівних циліндрах, гальмівній магістралі та головному резервуарі; здійснює контроль пильності машиніста; забезпечує контроль сигналів світлофорів на блоці індикації; формує сигнал для керування пристроєм підсипки піску; забезпечує реєстрацію оперативної інформації про рух поїзда, діагностику системи локомотивних та поїзних характеристик за допомогою пристрою реєстрації; дешифрація параметрів поїздки складає стаціонарному пристрої дешифрації.

Режими руху:

- поїзний з допустимою швидкістю $V_{\text{дод}}$ на зелений (білий), що задається з БВЛ та визначається категорією поїзда;
- маневровий з $V_{\text{доп}} = 60 \text{ км / год}$ на білий і з $V_{\text{доп}} = 40 \text{ км / год}$ для 7 категорії поїзда;
- спеціальний маневровий з $V_{\text{доп}} = 20 \text{ км / год}$.

Комплексний локомотивний пристрій безпеки КЛУБ-У.

КЛУБ-У призначено для застосування у складі комплексної уніфікованої системи для регулювання та забезпечення безпеки руху поїздів КУРС-Б з метою підвищення безпеки руху поїздів у поїзній та маневровій роботі, автоматизації процесу розшифрування результатів запису параметрів руху поїздів та забезпечення достовірності розшифрування [5].

КЛУБ-У призначено для застосування на ділянках залізниць з автономною та електричною тягою постійного та змінного струму, обладнаних колійними пристроями АЛСН, АЛС-ЕН, ТКС, САУТ, системою координатного регулювання руху поїздів на базі цифрового радіоканалу, а також на станціях, обладнаних системою МАЛС, для роботи на всіх типах локомотивів, мотор-вагонного рухомого складу (МВПС) та незнімних самохідних рухомих одиниць на залізничному ходу.

До складу КУРС-Б як функціональні модулі входять також система автоматичного управління гальмуванням САУТ-ЦМ і система телемеханічного контролю неспання машиніста ТС КБМ. Функціональні модулі системи КУРС-Б об'єднані локальною обчислювальною мережею CAN, яка дозволяє безконфліктно збільшувати або зменшувати кількість цих модулів у необхідних межах.

Структурну схему КЛУБ-У дано на рис.1.1.

До складу КЛУБ-У входять:

- БЕЛ-У - блок електроніки локомотивний універсальний;
- БК-У - блок комутації універсальний (варіанти виконання БК-У-1, БК-У-2);
- БСС - блок зв'язку з САУТ-Ц;
- БіЛ-УВ - блок індикації та введення локомотивний універсальний;
- БВЛ-У - блок введення локомотивний (складова частина Біл-УВ);
- УФІР - пристрій формування інформації для реєстрації;
- БВД-У - блок введення даних та діагностики універсальний;
- ІП-ЛЕ - джерело електроживлення локомотивної електронної апаратури;
- СУД-У - стаціонарний пристрій дешифрації універсальний;
- КР - касета реєстрації;
- ППУ-РС - пристрій приймає цифровий радіозв'язок;
- А-ТКС - антена точкового каналу зв'язку;
- А-СНС - антена супутникової навігації;
- КРТ - перетворювач надлишкового тиску;

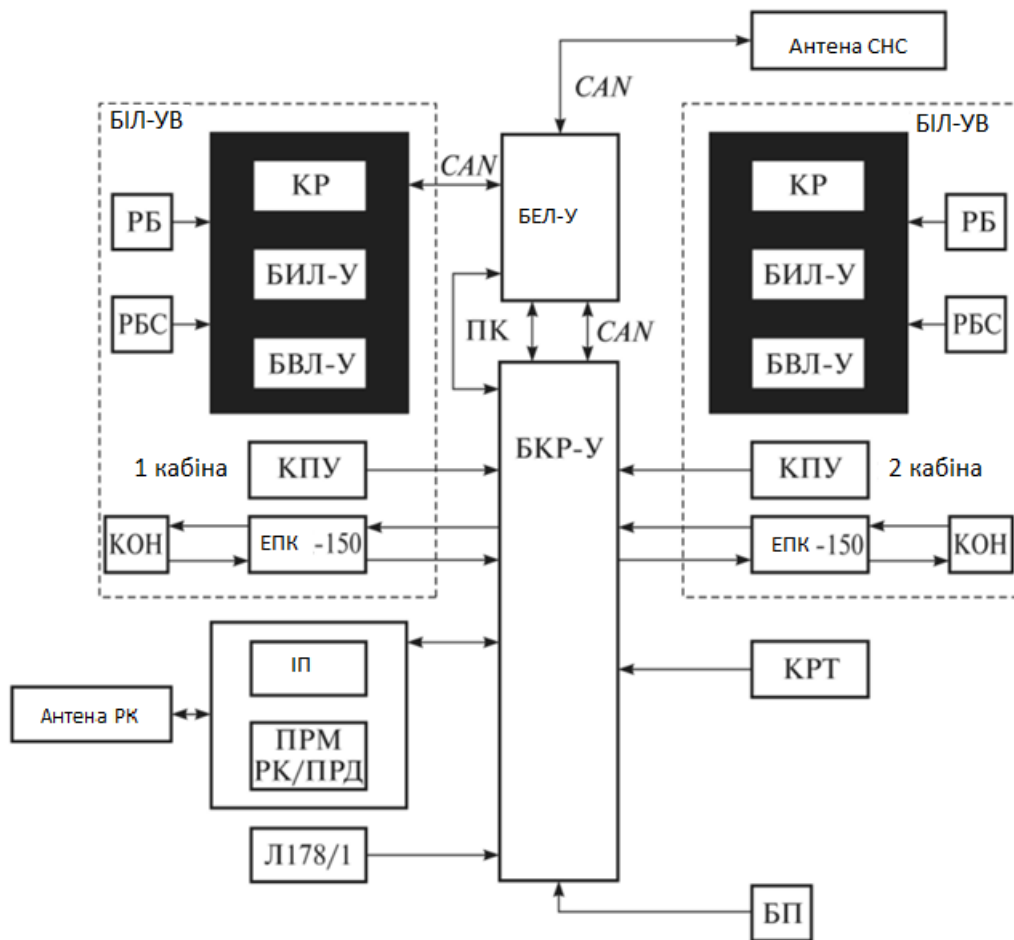


Рисунок 1.1 – Структурна схема КЛУБ-У:

КРТ – датчик тиску; БКР-У - блок комутації та реєстрації; БВЛ-У - блок введення інформації; БІЛ-У – блок індикації; БІЛ-УВ - блок введення та індикації; БЕЛ-У - блок електроніки; ІП - джерело живлення; КОН - контроль несанкціонованого відключення; КПУ - приймальні котушки; КР - касета реєстрації; Л178/1 - датчик кута повороту; ПЗМ РК / ПРД - приймач радіоканалу; РБ, РБС - рукоятки пильності; РК - радіоканал; СНР - супутникова навігаційна система; ЕПК - електротропневматичний клапан; БП - блок живлення 12/24 В; CAN-локальна обчислювальна мережа; КР - касета реєстрації; ПК - приймальні котушки (варіант виконання КПУ-1)

- ДПС-САУТ-МП - датчик шляху та швидкості;
- Ф - фільтр живлення датчика ДПС (Ф-ДПС-САУТ-МП);
- ІП-ЛК - вимірювач параметрів локомотивних котушок;

- ПК - приймальні котушки (варіант виконання КПУ-1);
- ЕПК - електропневматичний клапан (варіант виконання ЕПК-153);
- САУТ-ЦМ - система автоматичного керування гальмуванням поїзда;
- ТС КБМ - телемеханічна система контролю неспання машиніста;
- CAN - локальна обчислювальна мережа;
- ТКС - точковий канал зв'язку;
- МАЛС - маневрова автоматична локомотивна сигналізація;
- РБ - рукоятка пильності;
- РБС - рукоятка пильності спеціальна;
- УФК - пристрій формування електронної картки;
- КПТ - кодовий колійний трансмітер;
- ВК - кнопка вимкнення червоного сигналу.

Комплексний локомотивний пристрій безпеки КЛУБ-УП

Система КЛУБ-УП розрахована на застосування на ССПС – спеціальному самохідному рухомому складі І категорії.

Система КЛУБ-УП призначена для застосування на ділянках залізниць з автономною та електричною тягою постійного та змінного струму, обладнаних колійними пристроями АЛСН або системою координатного регулювання руху поїздів на базі цифрового радіоканалу та системою МАЛС на станціях (спеціальне виконання) [4-6].

До складу КЛУБ-УП входять:

- БЕЛ-УП - блок електроніки уніфікований для ССПС І категорії;
- МЦО - модуль центрального оброблювача;
- ІПД - модуль вимірювача параметрів руху;
- БВУ - блок вступних пристроїв;
- РК - радіоканал;
- РС - модуль радіозв'язку;
- БІЛ-УВП - блок індикації та введення параметрів уніфікований;
- БКР-УП - блок комутації та формування інформації для реєстрації;
- КР - касета реєстрації;

- СУД-У - стаціонарний пристрій дешифрації;
- БВЛ-УП – блок введення параметрів уніфікований для ССПС;
- БВД-У - блок введення та діагностики уніфікований;
- УФК - пристрій формування електронної картки;
- КПУ-1 - приймальні котушки;
- А-СНС - антена супутникової навігаційної системи;
- ППУ-РС - приймальний пристрій цифрового радіозв'язку;
- ІП-ЛЕ - джерело живлення електронної апаратури;
- ДПС - датчик шляху та швидкості;
- ЕПК - електропневматичний клапан;
- КПТ - кодовий колійний трансмітер;
- УФІР - пристрій формування інформації для реєстрації;
- РБ, РБС - рукоятка пильності, рукоятка пильності спеціальна;
- УСК - пристрій зчитування касети реєстрації;
- ВК - кнопка вимикання червоного сигналу;
- УСК - пристрій зчитування КР [5].

1.3 Принципи забезпечення надійності та функцій безпеки апаратури КЛУБ-У

В даний час існують пристрій КЛУБ-УП, створений для спеціального рухомого самохідного складу (ССПС) першої категорії, і пристрій КЛУБ-П - для ССПС другої категорії, розроблені на базі комплексного пристрою КЛУБ-У. Ці пристрої мають невеликі конструктивні відмінності.

Системи забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті можуть бути використані лише за умови їхньої безпечної роботи та надійного функціонування. Тому на всіх етапах створення, виготовлення та експлуатації ведуться цілеспрямовані заходи, що забезпечують виконання цих вимог.

Зазначені комплексні пристрої безпеки відповідно до сучасних вимог, що пред'являються до безпеки руху поїздів, дозволяють виконувати наступні функції:

1. Прийом від колійних пристроїв АЛСН та АЛС-ЕН, а також від радіоканалу МАЛС та радіоканалу систем координатного регулювання руху поїздів інформації про місцезнаходження поїзда, показання колійних світлофорів та тимчасові обмеження швидкості.

2. Прийом від колійних пристроїв точкового каналу зв'язку, у тому числі САУТ, даних для уточнення розташування та ідентифікації шляху прямування.

3. Вимірювання швидкості, визначення місцезнаходження (координати) локомотива або ССПС, прискорення та поточного часу.

4. Контроль стану гальмівної системи та ефективності гальмівних засобів.

5. Визначення припустимої швидкості руху поїзда в залежності від поїздної обстановки (відстань до поїзда, що передує), показань світлофорів, постійних і тимчасових обмежень швидкості, профілю колії, маси і довжини поїзда, ефективності гальмівних засобів.

6. Безперервне порівняння фактичної швидкості з допустимою та автоматичне відключення тяги та гальмування поїзда при перевищенні допустимої швидкості.

7. Вилючення несанкціонованого машиністом руху локомотива чи ССПС.

8. Контроль пильності та неспання машиніста.

9. Виключення руху локомотива та ССПС із включеною системою безпеки або вимкненим ключем ЕПК.

Раніше зазначалося, що для забезпечення контролю пильності машиніста застосовують:

1. Пристрої контролю за пильністю машиніста УКБМ.

2. Блок світлової сигналізації руху до заборонного сигналу Л143.

3. Блок мимовільного контролю торкання поїзда Л168 (Л168М).

4. Блок світлової сигналізації АЛСН-Л77 та блок світлової сигналізації на базі Л77-Л159 (-Л159М).

5. Пристрій Л132 («Дозор»).

6. Пристрій контролю пильності у системі АЛСН-Л116 (-Л116У).

Для забезпечення контролю швидкості та реєстрації параметрів руху використовують локомотивний скоростемір ЗСЛ-2М або комплекс засобів збору та реєстрації даних ККД усіх індексів.

Робота всіх пристроїв безпеки руху вимагає наявності на локомотиві пристроїв АЛСН: приймальних котушок, фільтра, підсилювача, дешифратора, локомотивного світлофора, РБ, ВК та, крім того, автостопу та локомотивного вимірювача швидкості.

Пристрій КЛУБ приймає він функції всіх перелічених пристроїв забезпечення безпеки руху. При обладнанні локомотивів пристроями КЛУБ знімаються всі локомотивні пристрої АЛС (за винятком прийомних котушок), а автостоп та локомотивний вимірювач швидкості залишаються.

Пристрій КЛУБ-У забезпечує:

1. Прийом інформації каналів АЛСН і АЛС-ЕН із захистом від помилкового прийому сигналу з каналу АЛС-ЕН при сході ізольованих стиків.

Для КЛУБ-У як пристрої безпеки прийняті наступні критерії небезпечних відмов:

- незастосування гальмування при виході КЛУБ-У з ладу;
- формування значення допустимої швидкості руху вище необхідного за умовами безпеки;
- формування значень фактичної швидкості нижче за реальну;
- індикація більш роздільної здатності показання локомотивного світлофора, ніж показання колійного світлофора.

Якісні показники безпеки забезпечуються:

- обробкою інформації, відповідальної за безпеку руху, двома незалежними каналами з м'якою синхронізацією;
- періодичним тестуванням та апаратним порівнянням роботи каналів обробки інформації;
- періодичним контролем схеми управління індикацією.

Кількісний показник безпеки - припустима ймовірність небезпечних відмов, що має бути не вище 10-11 на годину.

Справний стан та безперебійна дія пристроїв КЛУБ забезпечується відповідною організацією технічного обслуговування в умовах експлуатації. Технічне обслуговування КЛУБ проводиться робітками локомотивних депо, конкретний порядок якого встановлюється наказом начальника дороги.

Встановлено такі види технічного обслуговування:

- огляд перед рейсом, що проводиться локомотивною бригадою;
- технічне обслуговування на контрольному пункті та на пункті технічного обслуговування локомотивів;
- технічне обслуговування КЛУБ під час проведення поточних та капітальних ремонтів локомотивів, МВПС та ССПС;
- періодичні регламентні роботи з пристроїв КЛУБ у контрольному пункті та цеху автостопів та електроніки;
- вхідний контроль на контрольно-ремонтному пункті та в цеху автостопів та електроніки при отриманні апаратури із заводу – виробника;
- приймання в експлуатацію локомотивів, МВПС та ССПС, що знову обладнані пристроями КЛУБ;
- ремонт та внесення змін до схем пристроїв КЛУБ протягом гарантійного терміну, ремонт пристроїв КЛУБ за заявками працівників контрольного пункту у контрольно-ремонтному пункті або цеху автостопів та електроніки.

2. Відстеження проходження кордонів блок-ділянок прийому інформації з каналу АЛС-ЕН.

3. Обмін інформацією з колійними пристроями точкового каналу зв'язку ТКС.

4. Обмін інформацією зі станційними, переїзними та іншими пристроями цифрового радіозв'язку, включаючи пристрої оповіщення працюючих на коліях.

5. Прийом сигналів від систем локомотива: про включення/вимкнення тяги, перемикання керування на другу кабіну, положення крана машиніста та ключа ЕПК, тиск у гальмівній магістралі та головний резервуар.

6. Відлік поточного часу з коригуванням астрономічного часу супутникової навігаційної системи.

7. Обробку прийнятої інформації.
8. Формування інформації про значення цільової та допустимої швидкості руху.
9. Визначення параметрів руху поїзда (координати, швидкість) за інформацією від пристрою супутникової навігації, датчиків колії та швидкості ДПС-САУТ-МП та електронної карти ділянки.
10. Прийом та запис у внутрішню енергонезалежну пам'ять даних електронної карти колії та графіка руху поїздів.
11. Порівняння фактичної швидкості руху з допустимою та зняття напруги з виходу ЕПК при перевищенні фактичної швидкості над допустимою.
12. Здійснення одноразового та періодичного контролю пильності (за допомогою рукояток РБ, РБС).
13. Формування світлової сигналізації «Увага!» та зняття напруги з електромагніту ЕПК при втраті пильності машиніста.
14. Увімкнення на стоянці попереджувального звукового сигналу при появі роздільної здатності показання БІЛ-УВ, цей сигнал повинен припинятися при торканні або при натисканні рукояток РБ, РБС.
15. Включення індикації на БІЛ-УВ про поточний час, фактичну швидкість, режим роботи, готовність касети, часткову відмову, а також інформацію введення та тестування при вимкненому ключі ЕПК.
16. Увімкнення переривчастого звукового сигналу БІЛ-УВ та миготливого сигналу «Увага!» після включення ключа ЕПК та вимкнення цих сигналів після натискання рукояток РБ або РБС.
17. Увімкнення білого сигналу локомотивного світлофора БІЛ-УВ після включення живлення, за відсутності прийому інформації з каналів АЛСН та АЛС-ЕН при наступному включенні ключа ЕПК.
18. Перемикання червоного сигналу локомотивного світлофора БІЛ-УВ на білий при одночасному натисканні кнопки ВК на БВК та рукоятки РБ.
19. Реєстрацію оперативної інформації про рух поїзда, діагностику системи, локомотивних та поїзних характеристик за допомогою касети

реєстрації КР, обмін інформацією цифровим радіоканалом з підлоговими, станційними та мобільними об'єктами, обладнаними апаратурою цифрового радіозв'язку на частоті 460 МГц.

Забезпечення безпеки апаратури КЛУБ всіх модифікацій базується на таких принципах:

- приймальна апаратура будується у вигляді двоканальних пристроїв, що забезпечують незалежність обробки інформації в каналах і порівняння результатів цієї обробки безпечною схемою порівняння;

- пристрій складається з самостійних блоків та модулів, які можуть замінюватися під час експлуатації без додаткового налаштування;

- для найбільш відповідальних базових модулів передбачено «гаряче» резервування;

- реалізовані конструктивні способи зниження ймовірності небезпечних відмов;

- схемотехнічна реалізація локальних обчислювальних мереж виконана таким чином, щоб відмова окремих модулів не блокувала функціонування інших модулів;

- у блоці електроніки (БЕЛ) елементи каналів обробки та вузла управління роботою електропневматичного клапана (ЕПК), що забезпечує екстрене гальмування поїзда, топологічно рознесені для виключення взаємних зв'язків;

- вхідні та вихідні ланцюги, високовольтні та низьковольтні ланцюги, а також високочастотні ланцюги рознесені для виключення взаємних впливів;

- схеми пристроїв порівняння, вхідних ланцюгів та виконавчих елементів працюють з динамічними сигналами для виявлення одиночних відмов, при цьому застосовуються перетворювачі полярності та гальванічні розв'язки як елементи захисту від помилкових підживлень відповідальних ланцюгів;

- передбачена вбудована діагностика, що виявляє та індидує відмови основного та резервного комплекту або окремих функціональних пристроїв (наприклад, каналу вимірювання швидкості руху);

- у каналоутворюючій апаратурі використовується накопичення інформації та мажоритування для ухвалення рішення (за схемою «два з трьох»);
- у каналах передачі даних АЛС-ЕН використовуються надлишкові коди з мінімальною кодовою відстанню по Хеммінгу $d_{\min} = 4$;
- елементи порівняння та виконавчі елементи для реалізації відповідальних команд будуються на засадах самоконтролю однакових відмов за повним переліком елементів з урахуванням можливості накопичення неконтрольованих відмов за періоди часу, що визначаються профілактичними оглядами;
- система запуску при включенні апаратури КЛУБ-У та її перезапуску при збоях містить тимчасову затримку, що виключає дію вихідних сигналів апаратури на період перезапуску, достатній для приведення об'єкта керування (локомотива) у безпечний стан (гальмування та зупинення);
- обробні пристрої КЛУБ-У на базі спеціалізованих контролерів мають м'яку синхронізацію каналів обробки інформації для виключення однакової реакції каналів обробки на зовнішні перешкоди та схеми контролю сигналів на базі безпечних елементів порівняння;
- вхідні сигнали надходять у два обробних канали і порівнюються за результатами їх обробки фіксованих за тривалістю циклах. У кожному циклі обробки інформації виконується тестування окремих вузлів апаратури; незалежні канали обробки інформації містять спеціальний перетворювач контрольної інформації послідовне повідомлення, що складається з динамічних сигналів, за допомогою якого забезпечується зв'язок каналів обробки інформації з безпечним елементом порівняння.

1.4 Системи автоматичної локомотивної сигналізації

Системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН та АЛС-ЕН). В Укрзалізниці широке застосування знайшла автоматична сигналізація локомотивна безперервного типу з числовим кодуванням (АЛСН). При такій сигналізації в кабіну локомотива безперервно передаються світлові показання попередніх шляхових світлофорів. Для передачі на локомотив кожне світлове

показання колійного світлофора перетворюється на кодові комбінації електричних сигналів, які посилаються в рейковий ланцюг назустріч поїзду.

Формування кодових комбінацій проводиться за допомогою спеціальних пристроїв – кодових колійних трансмітерів (КПТ). В даний час застосовуються два типи цих пристроїв: КПТ-5 і КПТ-7, які формують кодові комбінації одного і того ж показання світлофора з різною тривалістю циклу. Для трансмітера типу КПТ-5 тривалість одного циклу передачі сигналу світлофора становить 1,6 с., а для КПТ-7-1,9 с. Як правило, у системі АЛСН до сусідніх блок-ділянок підключають КПТ різного типу. Це дає можливість на локомотиві визначати момент переходу з одного блоку на інший. На деяких станційних ділянках з метою унеможливлення впливу сигналів АЛСН головного шляху на сигнали бічного шляху використовується спеціальний захисний код для передачі сигналу КЖ. Кодові комбінації, що відповідають певним показанням дорожніх світлофорів, показано на рис.1.2.

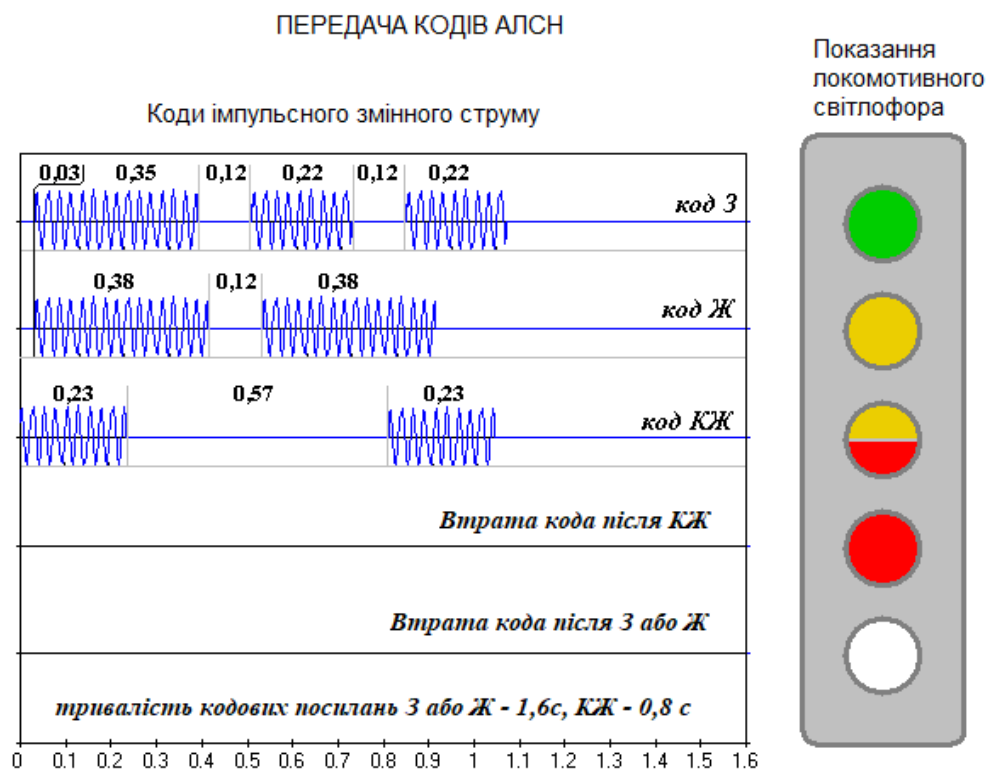


Рисунок 1.2 – Кодування сигналів АЛСН

Задля більшої стійкої роботи локомотивної сигналізації в колійні пристрої подають сигнальні струми певної величини. При електричній тязі постійного струму мінімальний струм сигналу локомотивної з частотою 50 Гц на вхідному кінці рейкового ланцюга повинен бути не менше 2А. При електричній тязі змінного струму мінімальний струм локомотивної сигналізації з частотою 25 і 75Гц на вхідному кінці рейкового ланцюга струм має бути не менше 1,4А. На ділянках із тепловозною тягою цей струм (із частотою 50 Гц) має бути не менше 1,2А. У кожному рейковому колі на перегоні або станції передача сигналів на локомотив проводиться у напрямку від світлофора до локомотива. Рівень сигналу в рейках у міру просування поїзда до світлофора безперервно зростає і може збільшуватися в 10...15 разів.

Висновки за розділом

В розділі проведено аналіз існуючих систем АЛС в Україні та зарубіжжі, розглянуто можливість застосовування сучасних систем регулювання рухом поїздів в сучасних умовах під час реновації залізниць України.

Серед розглянутих систем інтервального регулювання і автоматичної локомотивної сигналізації були такі: АЛСН, АЛС-ЕН, КЛУБ-У, САУТ, АЛС-АРШ, АБТЦШ, TVM, LZB (АЛСП), ZUB, ETCS, ATLAS, ГЛОНАСС/GPS.

Проведений огляд сучасних систем регулювання рухом поїздів та їх можливостей щодо забезпечення більшої швидкості та інтенсивності руху дозволив проаналізувати перспективи інтеграції систем АЛС у рамках Європейської системи керування поїздами ETCS.

Основними напрямками розвитку систем регулювання рухом поїздів є підвищення безпеки та надійності руху, орієнтація на мікропроцесорну техніку, розширення функціональних можливостей і кількості сигнальної інформації, що передається, можливість уніфікації модулів обладнання для застосування індустриальних методів обслуговування та ремонту.

2. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ

2.1. Призначення і принцип роботи АЛС-АРШ. Структурна схема АЛС-АРШ

В метрополітенах застосовують систему автоматичної локомотивної сигналізації з автоматичним регулюванням швидкості АЛС-АРШ, яка призначена для інтервального регулювання руху поїздів і забезпечення його безпеки. Система АЛС-АРШ, розроблена відповідно для метрополітену та володіє високими техніко-експлуатаційними характеристиками. Пропускна здатність лінії метрополітену при обладнанні системи АЛС-АРШ збільшується в порівнянні з автоблокуванням на 20...25%. Підвищується також і безпека руху поїздів.

Система АЛС-АРШ складається з комплексу дорожніх і поїзних пристроїв. Колійні пристрої за допомогою рейкових кіл перевіряють відсутність перешкод для руху і в залежності від кількості вільних блок-ділянок формують сигнал про допустиму швидкість руху. Цей сигнал, перетворений в струм різної частоти, посиляють по рейковій лінії для передачі на рухомий склад. Приймальні котушки поїзних пристроїв індуктивно пов'язані з рейковими колами. Поїзні пристрої безперервно приймають сигнал із колії, розшифровують і порівнюють його з інформацією про фактичну швидкість руху, що надходить від осьового вагонного датчика. Якщо фактична швидкість не перевищує допустиму, то поїзні пристрої не впливають на процес управління поїздом [9-12].

У разі коли фактична швидкість перевищує допустиму або відбувається зближення поїзда з перешкодою, поїзні пристрої забезпечують автоматичне службове гальмування поїзда до його зупинки. Автоматичне гальмування поїзда відбувається і в тому випадку, коли фактична швидкість виявляється вищою за допустиму в момент переходу поїзда з однієї блок-ділянки на іншу. Якщо після гальмування, що почалося, машиніст підтвердить сприйняття

гальмування натисканням на кнопку пильності, то відбудеться автоматична відпустка гальм, як тільки фактична швидкість знизиться і не перевищуватиме допустиму. Для забезпечення надійного гальмування передбачено контроль ефективності дії електричного гальма та при його відмові автоматичне заміщення електропневматичним. Ефективність дії електропневматичного гальма також перевіряється, а при його відмові вступає в дію екстрене пневматичне гальмо від електропневматичного клапана. Цим гарантується високий рівень безпеки руху.

У разі зупинки поїзда за сигналами АЛС–АРШ на зтяжному підйомі системою передбачено виключення можливості скочування поїзда назад у момент відпустки гальм від сигналу, що надходить, що дозволяє рух.

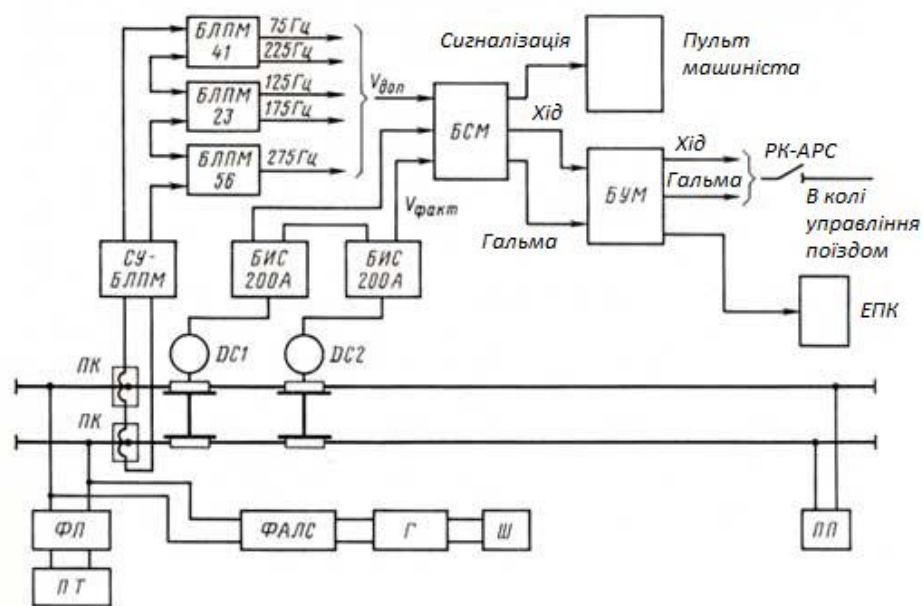


Рисунок - 2.1 Схема, що пояснює принцип кодування рейкових кіл за системою АЛС-АРШ: ПП - колійне реле, що контролює зайнятість / вільність колійних ділянок; Ш – шифратор – пристрій, що кодує інформацію про допустиму швидкість руху; Г– генератор сигнальних частот; ПК – приймальні котушки; ФЛ – фільтр рейкового кола; ФАЛС – фільтр автоматичної локомотивної сигналізації;

Система АЛС-АРШ швидкодіюча (рис. 2.1). Кодові сигнали на рухомий склад передаються по рейковій лінії струмами низької частоти (75-275 Гц). Дорожні перетворювачі та локомотивні приймачі побудовані на напівпровідниковій елементній базі, що працює безінерційно. Рух поїзда в раціональному режимі, з використанням оптимальної швидкості, досягається завдяки можливості автоматичного регулювання швидкості з урахуванням плану та профілю колії та залежно від зближення з перешкодою. Для умов метрополітенів передбачено п'ять щаблів припустимої швидкості від 0 до максимального значення 80 (90) км/год, що реалізується електрорухомим складом метрополітену в залежності від типу вагонів. Кожному ступеню допустимої швидкості відповідає певне значення сигнальної частоти, що передається по рейковій лінії:

Система АЛС-АРШ забезпечує більш високу пропускну здатність порівняно з автоблокуванням. При автоблокуванні поїзда розмежовуються двома блок-ділянками та однією захисною ділянкою. На захисній ділянці відбувається автостопне гальмування поїзда, якщо машиніст не забезпечить його зупинку перед показом світлофора, що забороняє. Автостопне (екстренне) гальмування включається на початку захисної ділянки у місці встановлення колійного автостопа. При цьому незалежно від швидкості гальмування на захисній ділянці його довжина розраховується на гальмування з максимальною швидкістю руху, встановленою на лінії. У системі АЛС-АРШ фактична швидкість руху безперервно порівнюється з допустимою. На поїзді в будь-який момент часу може статися автоматичне гальмування у разі виникнення небезпеки для руху: перевищення допустимої швидкості або зближення з перешкодою на відстані.

АЛС-АРШ відноситься до автоматичних систем інтервального регулювання руху поїздів і забезпечує:

- безперервний контроль довжини вільної ділянки шляху перед поїздом і підтримання безпечного інтервалу між попутно наступними поїздами в залежності від швидкості руху поїздів;

- передачу в кабіну машиніста інформації про допустиму (розрішену) швидкість руху в реальному масштабі часу;
- постійне порівняння фактичної швидкості з дозволеною;
- автоматичне включення гальм з видачею акустичного сигналу, якщо фактична швидкість вище дозволеної;
- автоматичне прискорення гальмування, якщо фактична швидкість стала меншою або рівно дозволеною;
- автоматичне гальмування ввести до повної зупинки поїзда, якщо машиніст не підтвердить свою пильність; таке попередження виконується натисканням педалі або спеціальної кнопки;
- огороження хвоста поїзда, що рухається попереду поїзда, спеціальною командою, яка заперечує рух, який подається в останнє вільне рейкове коло перед тією, що зайнята;
- виконання інших вимог безпеки руху поїздів, згідно ПТЕ метрополітенів.

При АЛС-АРШ також забезпечується контроль цілості рейкових нитей залізничного шляху. На лініях, де система АЛС-АРШ є основним засобом сигналізації при русі поїздів, вона доповнюється дублюючим автономним пристроєм АРШ (ДАП-АРС). В цьому випадку на пульті в кабіні машиніста є інформація про допустиму швидкість руху як на наступній рейковій лінії (основна сигналізація), так і про очікувану допустиму швидкість руху на передній рейковій лінії (попереджувальна сигналізація). Для передачі інформації про допустиму швидкість руху використовуються частотні кодові сигнали, коли кожна частота кодового сигналу відповідає заданій швидкості:

- 75 Гц — 80 (90) км/год,
- 125 Гц — 70 (75) км/год,
- 175 Гц — 60 км/год,
- 225 Гц — 40 км/год,
- 275 Гц — 0 — сигнал остановки.

Частота 325 Гц має такі значення: в системі «Дніпро» — попереднє сигнальне показання «Рівність швидкостей», яке вказує, що швидкість на передньому рейковому колі, яка дорівнює або більша за допустиму швидкість на наступному рейковому колі;

комбінація сигнальних частот 225 Гц і 325 Гц використовується для передачі кодового сигналу напрямку руху (КС-Н); при цьому вона несе інформацію про допустиму швидкість руху 40 км/год;

в ДАП-АРС — не встановлена інформація про напрямок руху поїзда і про допустиму швидкість 40 км/год.

Показчиком в кабіні управління електропоїздом подаються сигнали:

цифрове показання — «Розрішається рух зі швидкістю, не перевищуючою вказану сигнальну індикацію»;

цифра «0» (нуль) — «Стій! Необхідна зупинка»;

букви «НЧ» (немає частоти) або «ОЧ» (відсутність частоти) — «Стій! Необхідна зупинка. Попереду шлях зайнятий, несправність колійних, поїзних пристроїв АЛС-АРШ, злам рейки, не заданий маршрут, не кодуєме рейкове коло»;

чередування показань «О» і «НЧ» («ОЧ») — сигнал абсолютної остановки (допускається на лінії, де основним засобом сигналізації є АЛС-АРШ) — «Стій! Необхідна установка».

Попередня сигналізація про допустиму швидкість руху на передній рейковій лінії подається у вигляді цифрового або буквеного сигнального показання («РС»).

При АЛС-АРШ поруч наступні поїзда розмежовуються блок-дільницею АЛС-АРШ.

Блок-дільниця АЛС-АРШ – ділянка шляху від кінця рельсової дороги, при гальмуванні пристроїв АЛС-АРШ зі швидкістю, дозволеною на наступному рейковому колі. Границями блок-дільниці АЛС-АРШ є ізолюючі стики або точки підключення до рейок апаратури рейкових кіл. На границі рейових кіл

встановлюється літерна табличка з номером рейкового кола, що займається головною поїзdkою.

2.2 Моделювання систем масового обслуговування

З розвитком нових технологій, у наше життя увійшло таке поняття як моделювання. Моделювання використовується тоді, коли експерименти з реальними об'єктами або системами неможливі або дуже дорогі. Головною відмінністю моделювання з інших методів вивчення систем є можливість оптимізації системи до її реалізації [9].

Математичні моделі ділять на аналітичні та імітаційні. Аналітичні моделі являють собою рівняння або системи рівнянь, записані у вигляді алгебраїчних, інтегральних, диференціальних співвідношень. Цей тип моделей зазвичай застосовують для опису фундаментальних властивостей об'єктів, оскільки фундамент простий за своєю суттю. Складні об'єкти рідко можна описати аналітично [10].

Альтернативою аналітичних моделей є імітаційні моделі. Основна відмінність імітаційних моделей від аналітичних полягає в тому, що замість аналітичного опису взаємозв'язків між входами та виходами досліджуваної системи будують алгоритм, що відображає послідовність розвитку процесів усередині досліджуваного об'єкта, а потім переглядають поведінку об'єкта на комп'ютері [10].

Моделювання систем масового обслуговування.

Моделювання систем масового обслуговування (СМО) – це універсальний спосіб для дослідження моделі. Розрахунок та аналіз характеристик систем масового обслуговування є одним з основних напрямків досліджень як в галузі аналітичного, так і імітаційного моделювання.

Системи масового обслуговування можуть бути класифіковані за низкою ознак.

1. Залежно від умов очікування початку обслуговування розрізняють:
 - СМО із втратами (відмовами);

- СМО з очікуванням.

У СМО з відмовими вимоги, які у момент, коли всі канали обслуговування зайняті, отримують відмову і губляться. Класичним прикладом системи із відмовами є телефонна станція. Якщо абонент зайнятий, то вимога на з'єднання з ним отримує відмову і втрачається.

У СМО з очікуванням вимога, заставши всі обслуговуючі канали зайнятими, стає в чергу і чекає, доки не звільниться один із обслуговуючих каналів.

СМО, що допускають чергу, але з обмеженою кількістю вимог у ній, називаються системами з обмеженою довжиною черги.

СМО, що допускають чергу, але з обмеженим терміном перебування кожної вимоги, називаються системами з обмеженим часом очікування.

2. За кількістю каналів обслуговування СМО поділяються на:

- одноканальні;
- багатоканальні.

3. За місцем знаходження джерела вимог СМО поділяються на:

- розімкнені, коли джерело вимоги знаходиться поза системою;
- замкнені, коли джерело знаходиться в самій системі.

Методи та моделі, що застосовуються в теорії масового обслуговування, можна умовно поділити на аналітичні та імітаційні.

В даний час теоретично найбільш розроблені та зручні у практичних додатках методи вирішення таких завдань масового обслуговування, в яких вхідний потік вимог є найпростішим (пуассонівським).

Для найпростішого потоку частота надходження вимог у систему підпорядковується закону Пуассона, тобто. ймовірність надходження за час t рівно k вимог задається формулою

Найпростіший потік має три основні властивості: ординарність, стаціонарність і відсутність післядії.

Ординарність потоку означає практичну неможливість одночасного надходження двох і більше вимог. Наприклад, досить малою є ймовірність того,

що з групи верстатів, які обслуговує бригада ремонтників, одночасно вийдуть з ладу відразу кілька верстатів.

Стаціонарним називається потік, котрій математичне очікування кількості вимог, які у систему одиницю часу (позначимо l), не змінюється у часі. Таким чином, ймовірність надходження до системи певної кількості вимог протягом заданого проміжку часу Δt залежить від його величини і не залежить від початку відліку на осі часу.

Відсутність післядії означає, що кількість вимог, що надійшли до системи до моменту t , не визначає того, скільки вимог надійде в систему за проміжок часу від t до $t + \Delta t$.

Важлива характеристика СМО – час обслуговування вимог у системі. Найбільшого поширення теоретично і особливо у практичних додатках отримав експоненційний закон розподілу часу обслуговування.

Розглянемо алгоритми розрахунку показників якості функціонування розімкнутої системи масового обслуговування з очікуванням.

Під час вивчення таких систем розраховують різні показники ефективності обслуговуючої системи. Як основні показники можуть бути ймовірність того, що всі канали вільні або зайняті, математичне очікування довжини черги (середня довжина черги), коефіцієнти зайнятості та простою каналів обслуговування та ін.

1. Введемо до розгляду параметр $\alpha = l/m$. Зауважимо, що якщо $\alpha/n < 1$, то черга не може зростати безмежно. Ця умова має наступний зміст: l - середня кількість вимог, що надходять за одиницю часу, $1/m$ - середній час обслуговування одним каналом однієї вимоги, тоді $\alpha = l \cdot 1/m$ - середня кількість каналів, яку необхідно мати, щоб обслуговувати в одиницю часу всі вимоги. Тому умова $\alpha/n < 1$ означає, що кількість обслуговуючих каналів має бути більшою за середню кількість каналів, необхідних для того, щоб за одиницю часу обслужити всі вимоги, що надійшли.

2. Імовірність того, що зайнято рівно k обслуговуючих каналів за умови, що загальна кількість вимог, що знаходяться на обслуговуванні, не перевищує числа обслуговуючих апаратів:

3. Імовірність того, що в системі знаходиться/є вимог у разі, коли їх кількість більша за кількість обслуговуючих каналів:

4. Імовірність того, що всі обслуговуючі канали зайняті:

5. Середній час очікування вимогою початку обслуговування у системі:

6. Середня довжина черги:

7. Середня кількість вільних від обслуговування каналів:

8. Коефіцієнт простою каналів:

9. Середня кількість зайнятих обслуговуванням каналів:

10. Коефіцієнт завантаження каналів:

У поданій роботі було поставлено такі завдання:

- дослідити модель, використовуючи аналітичний метод;
- здійснити аналіз одержаних результатів;
- описати алгоритм імітаційного методу.

Для вирішення цих завдань використовувалися такі вхідні дані:

- Кількість каналів обслуговування
- Максимальна довжина черги
- Інтенсивність потоку заявок
- Інтенсивність потоку обслуговування.

Внаслідок чого були вираховані показники ефективності:

- ймовірність відмови;
- відносна пропускна спроможність;
- абсолютна пропускна спроможність;
- середня кількість зайнятих каналів;
- середній час простою СМО;
- середня кількість заявок, що обслуговуються.

Постановка задачі.

Система масового обслуговування представлена системою з відмовами та числом каналів обслуговування n , максимальна довжина черги m , інтенсивність потоку заявок на обслуговування λ та інтенсивність потоку обслуговування μ . Потрібно скласти аналітичну модель та розрахувати показники ефективності [13-16].

2.3. Рівняння Колмогорова. Граничні ймовірності стани

Розглянемо математичний опис Марківського процесу з дискретними станами та безперервним часом на прикладі випадкового процесу на прикладі, граф якого зображений на рис. 2.2. Вважатимемо, що це переходи системи зі стану S_0 і в S_1 відбуваються під впливом найпростіших потоків подій з інтенсивностями λ_{ij} , $i, j=0,1,2,3$; так, перехід системи зі стану S_0 в S_1 відбуватиметься під впливом потоку відмов першого вузла, а зворотний перехід зі стану S_1 в S_0 - під впливом потоку "закінчень ремонтів" першого вузла і т.п.

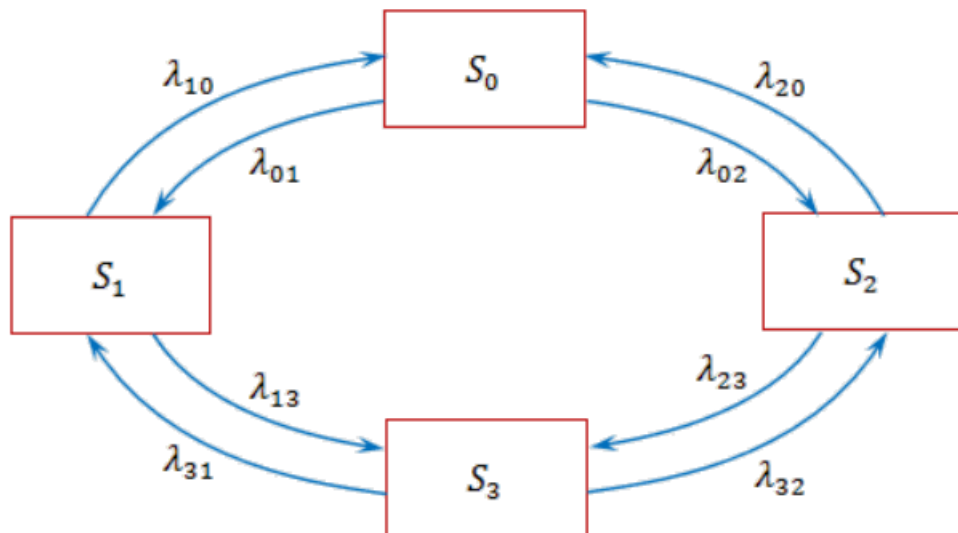


Рисунок 2.2 – Граф системи станів випадкового процесу

Граф станів системи з проставленими у стрілок інтенсивностями називатимемо розміченим (рис. 2.2). Розглянута система S має чотири можливі

стани: S_0, S_1, S_2, S_3 .

Ймовірністю i -го стану називається ймовірність $p_i(t)$ того, що в момент t система перебуватиме в стані S_i . Очевидно, що для будь-якого моменту t сума ймовірностей усіх станів дорівнює одиниці:

$$\sum_{i=0}^3 p_i(t) = p_0(t) + p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) = 1, \quad (2.1)$$

Розглянемо систему в момент t і, задавши малий проміжок Δt , знайдемо ймовірність $p_0(t+\Delta t)$ того, що система в момент $t + \Delta t$ перебуватиме в стані S_0 . Це досягається різними способами.

1. Система в момент t з ймовірністю $p_0(t)$ знаходилася в стані S_0 , а за час Δt не вийшла з нього.

Вивести систему з цього стану (див. граф на рис. 2.2) можна сумарним найпростішим потоком з інтенсивністю $(\lambda_{01} + \lambda_{02})$ з ймовірністю, приблизно рівною $(\lambda_{01} + \lambda_{02})\Delta t$. Ймовірність того, що система не вийде зі стану S_0 , дорівнює $[1 - (\lambda_{01} + \lambda_{02})\Delta t]$. Ймовірність того, що система перебуватиме в стані S_0 за першим способом (тобто того, що знаходилася в стані S_0 і не вийде з нього за час Δt), дорівнює теоремі множення ймовірностей:

$$p_0(t) [1 - (\lambda_{01} + \lambda_{02})\Delta t]. \quad (2.2)$$

2. Система в момент t з ймовірностями $p_1(t)$ (або $p_2(t)$) перебувала у стані S_1 або S_2 і за час Δt перейшла в стан S_0 .

Потоком інтенсивністю λ_{10} (або λ_{20} — рис. 2.2) система перейде в стан S_0 з ймовірністю, що приблизно дорівнює $\lambda_{10}\Delta t$ (або $\lambda_{20}\Delta t$). Ймовірність того, що система перебуватиме в стані S_0 за цим способом, дорівнює $p_1(t) \lambda_{10}\Delta t$ (або $p_2(t) \lambda_{20}\Delta t$).

Застосовуючи теорему складання ймовірностей, отримаємо

$$p_0(t+\Delta t) = p_1(t) \lambda_{10}\Delta t + p_2(t) \lambda_{20}\Delta t + p_0(t)[1-(\lambda_{01}+\lambda_{02})\Delta t], \quad (2.3)$$

звідки

$$\frac{p_0(t+\Delta t) - p_0(t)}{\Delta t} = p_1(t) \lambda_{10} + p_2(t) \lambda_{20} - p_0(t)(\lambda_{01} + \lambda_{02}). \quad (2.4)$$

Переходячи до межі при $\Delta t \rightarrow 0$ (наближені рівності, перейдуть у точні), отримаємо в лівій частині рівняння похідну $p'_0(t)$ (позначимо її для простоти p'_0):

$$p'_0 = \lambda_{10}p_1 + \lambda_{20}p_2 - (\lambda_{01} + \lambda_{02})p_0. \quad (2.5)$$

Здобули диференціальне рівняння першого порядку, тобто. рівняння, що містить як саму невідому функцію, і її похідну першого порядку.

Розмірковуючи аналогічно до інших станів системи S, можна отримати систему диференціальних рівнянь Колмогорова для ймовірностей станів:

$$\begin{cases} p'_0 = \lambda_{10}p_1 + \lambda_{20}p_2 - (\lambda_{01} + \lambda_{02})p_0 \\ p'_1 = \lambda_{01}p_0 + \lambda_{31}p_3 - (\lambda_{10} + \lambda_{13})p_1 \\ p'_2 = \lambda_{02}p_0 + \lambda_{32}p_3 - (\lambda_{20} + \lambda_{23})p_2 \\ p'_3 = \lambda_{13}p_1 + \lambda_{23}p_2 - (\lambda_{31} + \lambda_{32})p_3 \end{cases} \quad (2.6)$$

Правило складання рівнянь Колмогорова. У лівій частині кожного з них стоїть похідна ймовірності i -го стану. У правій частині - сума творів ймовірностей всіх станів (з яких йдуть стрілки в даний стан) на інтенсивності відповідних потоків подій, мінус сумарна інтенсивність всіх потоків, що виводять систему з цього стану, помножена на ймовірність цього (i стану).

У системі (2.6) незалежних рівнянь на одиницю менше від загальної кількості рівнянь. Тому для розв'язання системи необхідно додати рівняння (2.1).

Особливість розв'язання диференціальних рівнянь взагалі у тому, що потрібно поставити звані початкові умови, тобто. у разі ймовірності станів системи у початковий момент $t=0$. Приміром, систему рівнянь (2.6) природно вирішувати за умови, що у початковий момент обидва вузла справні і система перебувала у стані S_0 , тобто. за початкових умов $p_0(0)=1$, $p_1(0)=p_2(0)=p_3(0)=0$.

Рівняння Колмогорова дають можливість визначити всі можливості станів як функції часу. Особливий інтерес становлять ймовірності системи $p_i(t)$ у граничному стаціонарному режимі, тобто. при $t \rightarrow \infty$, які називаються граничними (або фінальними) ймовірностями станів.

В теорії випадкових процесів доводиться, що й кількість станів системи звісно і з кожного їх можна (за кінцеве число кроків) перейти у будь-який інший стан, то граничні ймовірності існують.

Гранична ймовірність стану S_i має чітке значення: вона показує середнє відносне час перебування у цьому стані. Наприклад, якщо гранична можливість стану S_0 , тобто. $p_0=0,5$, це означає, що у середньому половину часу система перебуває у стані S_0 .

Так як граничні ймовірності постійні, то, замінюючи в рівняннях Колмогорова їх похідні нульовими значеннями, отримаємо систему лінійних рівнянь алгебри, що описують стаціонарний режим. Для системи S із графом станів, зображеним на рис. 2.2), така система рівнянь має вигляд:

$$\begin{cases} (\lambda_{01} + \lambda_{02})p_0 = \lambda_{10}p_1 + \lambda_{20}p_2 \\ (\lambda_{10} + \lambda_{13})p_1 = \lambda_{01}p_0 + \lambda_{31}p_3 \\ (\lambda_{20} + \lambda_{23})p_2 = \lambda_{02}p_0 + \lambda_{32}p_3 \\ (\lambda_{31} + \lambda_{32})p_3 = \lambda_{13}p_1 + \lambda_{23}p_2 \end{cases} \quad (2.7)$$

Систему (2.7) можна скласти безпосередньо за розміченим графом станів, якщо керуватися правилом, згідно з яким зліва в рівняннях стоїть гранична ймовірність даного стану p_i , помножена на сумарну інтенсивність всіх потоків, що ведуть з даного стану, а праворуч – сума творів інтенсивностей всіх потоків,

що входять в i -е стан, на ймовірності тих станів, у тому числі ці потоки виходять [17].

2.4. Розробка математичної моделі системи автоматичного регулювання швидкості

Системи інтервального регулювання відносяться до складних систем. В системі інтервального регулювання відмови окремих елементів приводять, як правило, до погіршення якості функціонування, а не до повного порушення роботи придатності. Наприклад, відмова сигнальної установки автоблокування приводить не до припинення руху поїздів, а до пониження пропускної спроможності перегону. Для складних систем доцільно говорити про ефективності функціонування і ввести відповідні показники. Показник ефективності може бути різним: ймовірність, кошторис і т.п.: для системи автоблокування – пропускна спроможність перегону. Вихідний ефект системи $\bar{E}$ випадковою величиною B . Найбільш повною характеристикою будь-якої випадкової величини є її закон розподілення, але на практиці звичайно користуються числовою характеристикою – математичним очікуванням вихідного ефекту системи B , котрий може бути визначено відповідно до виразу

$$\bar{B} = \sum_{i=1}^N B_i \cdot P_i, \quad (2.8)$$

де N - кількість станів системи;

P_i - ймовірність перебування системи в i -му стані;

B_i - показник ефективності при умові, що система знаходиться в i -му стані.

Здійснимо математичне моделювання системи інтервального регулювання руху поїздів на перегоні та розрахуємо її ефективність, взявши в якості показника ефективності середню пропускну спроможність лінії, пар/доба.

Система інтервального регулювання складається з пристроїв автоматичного регулювання швидкості АРШ та автоблокування. В нормальному стані

включена система АРШ, при цьому пропускна здатність $\Pi_1=48$ пар/добу. При відмові АРШ включається система автоблокування, при цьому пропускна здатність падає до $\Pi_2=30$ пар/добу. При відмові обох систем пропускна здатність падає до $\Pi_3=15$ пар/добу. Необхідно оцінити середню пропускну здатність лінії, маючи на увазі, що

інтенсивність відмов складає:

пристрою АРШ – $\lambda_1=0,015$ 1/добу;

автоблокування – $\lambda_2=0,012$ 1/добу;

інтенсивність відновлення цих пристроїв складає:

пристрою АРШ – $\mu_1=0,5$ 1/добу;

автоблокування – $\mu_2=0,7$ 1/добу.

Апаратура автоблокування у вимкненому стані не відмовляє.

В якості показника ефективності використаємо пропускну спроможність лінії Π . Систему інтервального регулювання моделювати будемо як стаціонарну систему масового обслуговування. Граф станів системи приведено на рис. 2.3, в якості станів системи обрано наступні:

S1 – АРШ включена;

S2 – система автоблокування включена;

S3 – відмова АРШ і автоблокування.

Враховуючи той факт, що процес регулювання у припущенні стаціонарний випадковий марковський процес, то ймовірності станів можна описати системою диференціальних рівнянь Колмогорова

$$\begin{cases} \frac{dp_1(t)}{dt} = -\lambda_1 \cdot p_1(t) + \mu_1 \cdot p_2(t) + \mu_1 \cdot p_3(t) \\ \frac{dp_2(t)}{dt} = -\lambda_2 \cdot p_2(t) - \mu_1 \cdot p_2(t) + \mu_2 \cdot p_3(t) + \lambda_1 \cdot p_1(t) \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_2 \cdot p_2(t) - \mu_2 \cdot p_3(t) - \mu_1 \cdot p_3(t) \end{cases} \quad (2.9)$$

$$p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) = 1$$

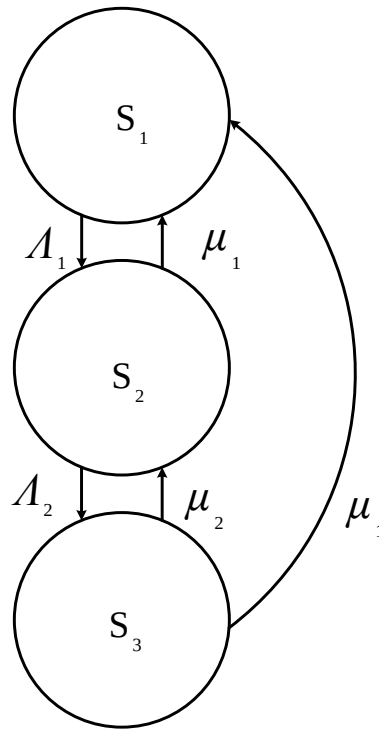


Рисунок 2.3 – Граф станів системи інтервального регулювання:

S1 – АРІШ включена; S2 – система автоблокування включена;

S3 – відмова АРІШ і автоблокування.

З диференціальних рівнянь Колмогорова отримаємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь для визначення фінальних ймовірностей, в цьому випадку $p_i(t) = \text{const}, \quad i = 1, 2, 3$

$$\begin{cases} -\lambda_1 \cdot p_1 + \mu_1 \cdot p_2 + \mu_1 \cdot p_3 = 0 \\ \lambda_2 \cdot p_2 - (\mu_2 + \mu_1) \cdot p_3 = 0 \\ p_1 + p_2 + p_3 = 1 \end{cases} \quad (2.10)$$

Розв'язанням системи (2.10) є

$$p_1 = \frac{\mu_1}{\lambda_1 + \mu_1};$$

$$p_2 = \frac{\lambda_1 \cdot (\mu_1 + \mu_2) \cdot \mu_1}{(\lambda_1 + \mu_1) \cdot (\lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)};$$

$$p_3 = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{(\lambda_1 + \mu_1) \cdot (\lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}.$$

При заданих значеннях інтенсивностей відмов та відновлення одержимо наступні численні значення фінітних ймовірностей

$$p_1 = 0.971; \quad p_2 = 0.029; \quad p_3 = 0.000288.$$

Тепер обчислимо обраний показник ефективності лінії. Середня спроможність лінії, пар/день

$$\bar{P} = P_1 \cdot p_1 + P_2 \cdot p_2 + P_3 \cdot p_3 = 47.38 \text{ пар/день}$$

Більш детально розрахунки пропускної спроможності на ділянці з АЛС-АРШ дано в додатку А.

2.5. Висновки за розділом

З урахуванням поточного стану систем автоблокування і надійності системи АЛС-АРШ, а також результатів моделювання і надійності системи реальна пропускна спроможність лінії 47 пар поїздів за добу.

Процес регулювання в розробленій математичній моделі у припущенні є стаціонарним випадковим Марковським процесом. Ймовірність дискретних станів системи АЛС-АРШ та безперервних у часі було описано за допомогою системи диференціальних рівнянь Колмогорова.

ВИСНОВКИ

Серед розглянутих систем інтервального регулювання і автоматичної локомотивної сигналізації були такі: АЛСН, АЛС-ЕН, КЛУБ-У, САУТ, АЛС-АРШ, АБТЦШ, TVM, LZB (АЛСП), ZUB, ETCS, ATLAS, ГЛОНАСС/GPS.

Дослідження в роботі направлені на підвищення безпеки руху поїздів.

Складні системи організовані за ієрархічним принципом.

Основною теорією, що дозволяє описати процес обробки вантажопотоку є «Теорія випадкових процесів» та «Теорія масового обслуговування».

Процес обробки потоку поїздів на перегоні розглядався як випадковий. На стан процесу переробки потоку поїздів на станції впливають потужності системи залізничної автоматики та надійність її елементів.

Розроблено математичну модель оцінки ефективності пропускної спроможності залізничної лінії на основі статистичних даних про надійність системи інтервального регулювання руху поїздів. В якості показника ефективності взято середню пропускну спроможність лінії.

Обраний метод моделювання дозволить аналізувати поїзну роботу на дільниці, обладнаної АЛС-АРШ і прогнозувати її подальшу роботу при збільшенні/зменшенні пасажиро- і вантажопотоку.

Метод дослідження, запропонований в роботі, може бути використано як приклад при викладанні дисципліни «Надійність та діагностування».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Перізат Балгабаєва. Системи забезпечення безпеки руху поїздів та їх удосконалення. Режим доступу: <https://eduindex.kz/methodical-articles/1193-sistemy-obespechenija-bezopasnosti-dvizhenija-poezdov-i-ih-sovershenstvovanie.html>
2. Воронова, Н. І. Локомотивні пристрої безпеки. Підручник для студентів закладів середовищ. проф. освіти/Н.Є. Разінкін, Г.Б. Сарафанов. - М.: Академія, 2013. - 208 с. : рис., табл. - 1000 прим. - ISBN 978-5-7695-9700-8 (у пров.)
3. Кузнецов, К. В. Локомотивні прилади безпеки [Електронний ресурс]: навчальний ілюстрований посібник для студентів технікумів та коледжів залізничного транспорту / К. В. Кузнецов,
4. Комплексний локомотивний пристрій безпеки уніфікований КЛУБ-У. Режим доступу: <https://gisprofi.com/catalog/items10288.html>
5. Комплексний локомотивний пристрій безпеки КЛУБ-У <https://studfile.net/preview/2913609/page:5/>
6. Комплексний локомотивний пристрій безпеки КЛУБ-У <https://studfile.net/preview/392037/page:24/>
7. Комплексні локомотивні пристрої безпеки (КЛУБ). Режим доступу: https://studref.com/556677/tehnika/kompleksnye_lokomotivnye_ustroystva_be_zopasnosti_klub
8. Пристрої автоматичної локомотивної сигналізації на залізницях Західної Європи. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/392037/page:12/>
9. Розенберг, Е.Н. Інтелектуальні системи регулювання [Текст] / Е.Н.Розенберг, В.А.Воронін // Автоматика, зв'язок, інформатика. – 2011. - №2. – С.23-24. 12.
10. Зорин, В.И. Развитие систем обеспечения безопасности и интервального регулирования движения поездов с применением спутниковой навигации

- и цифрового радиоканала [Текст] / В.И.Зорин // Техника железных дорог. – 2009. -- № 3(7). – С.90-91.
11. Бойнік А.Б., Кошевой С.В., Панченко С.В., Сотник В.А. Системи інтервального регулювання руху поїздів на перегоні. Харків: УкрГАЗТ 2005. – 256 с.
 12. Theeg, G. European train protection systems compared [Text] / G.Theeg, B.Vincze // Signal+ Draht. – 2007. -- № 7+8. -- P. 35–40. 21. ETCS and GSM-R open the way for seamless cross-border rail traffic // Panorama UIC. –2004. – № 22. – P. 6-7 22.
 13. Jansen, D.N. The impact of GSM-R on railway capacity [Text] / D.N.Jansen, S.G.Klabes, E.Wendler // Advanced train control systems. – Southampton:WIT Press, 2010. – P.143-153.
 14. Бережная Е.В. Бережной В.И. Математичні методи моделювання математичних систем, 2007.- 432 с.
 15. Радченко Т.А., Дилевский А.В. Методи аналізу системи масового обслуговування, 2007.-62 с.
 16. Моделювання систем [Електронний ресурс]: <http://sardismusic.com/t3.html>
 17. Рівняння Колмогорова. Граничні ймовірносні стани [Електронний ресурс]: <https://mathhelpplanet.com/static.php?p=uravneniya-kolmogorova>

Приклад розрахунку пропускної спроможності на дільниці з АЛС-АРС
за допомогою Mathcad

$$\mu_1 := 0.5 \quad \frac{1}{\text{добу}} \quad \mu_2 := 0.7 \quad \frac{1}{\text{добу}}$$

$$\lambda_1 := 0.015 \quad \frac{1}{\text{добу}} \quad \lambda_2 := 0.012 \quad \frac{1}{\text{добу}}$$

$$\Pi_1 := 48 \quad \frac{\text{пар}}{\text{добу}} \quad \Pi_2 := 30 \quad \frac{\text{пар}}{\text{добу}} \quad \Pi_3 := 15 \quad \frac{\text{пар}}{\text{добу}}$$

$$p_1 := \frac{\mu_1}{\lambda_1 + \mu_1}$$

$$p_2 := \frac{\lambda_1 \cdot (\mu_1 + \mu_2)}{(\mu_1 + \lambda_1) \cdot (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_2)}$$

$$p_3 := \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{(\mu_1 + \lambda_1) \cdot (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_2)}$$

$$p_1 = 0.971$$

$$p_2 = 0.029$$

$$p_3 = 2.884 \times 10^{-4}$$

$$\Pi := \Pi_1 \cdot p_1 + \Pi_2 \cdot p_2 + \Pi_3 \cdot p_3 = 47.471 \quad \frac{\text{пар}}{\text{добу}}$$