МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український Державний університет науки і технологій

НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ І ПРОФЕСІЙ
CNAM, ФРАНЦІЯ

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»
Завідувач кафедри:
д.ф-м.н., професор _____ Гаврилюк В. І.
(вчене звання, ступінь) (підпис) (ПІБ)
«17» 10 2022 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

на отримання ОКР «магістр»
Напрямок 1801 «Специфічні категорії»
Спеціальність 8.18010025 «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

тема ПРИВЕДЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЙ УКРАЇНИ ДО ВИМОГ TSI

Виконав:
_____ Костів В. В.
(підпис) (прізвище, ім'я, по–батькові)

Керівник:
к.т.н., доцент _____ Возняк О.М.
(вчене звання, ступінь) (підпис) (прізвище, ім'я, по–батькові)

Львів–Дніпро
2022

ЗАЯВА

Я, Костів Віталія Василівна
(ПІБ повністю)

Студені групи 8-Інтер
(шифр групи)

Спеціальності Залізничний транспорт
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Інтероперабельність і безпека на зал. тр-ті
(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки магістр
(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему: Приведення мікропроцесорних централізацій України до вимог інтероперабельності

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічною плагіату.

Я ознайомлена з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Дата 05.12.22 Підпис Костів

Керівник Підпис

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І СЛОВНИК ТЕХНІЧНИХ ТЕРМІНІВ

АБ	автоматичне блокування
АБТ	автоматичне блокування рейковими колами тональної частоти без ізоляції стиків
АБТЦ	автоматичне блокування з тональними рейковими колами і централізованим розміщенням обладнання
АБ-ЧКУ	мікропроцесорна система числового кодового АБ
АДКУ	мережевий центр диспетчерського управління
АІС	автоматизована інформаційна система
АКП	автоматичні контрольні пункти
АЛС	автоматична локомотивна сигналізація
АЛСН	автоматична локомотивна сигналізація неперервної дії
АЛСО	автоматична локомотивна сигналізація, що використовується як самостійний засіб сигналізації та зв'язку
АЛСТ	автоматична локомотивна сигналізація точкової дії
АРМ	автоматизоване робоче місце
АСУРП	автоматизована система управління рухом поїздів
АСУЗТ	автоматизована система управління залізничним транспортом
АУРП	автоматичне управління рухом поїздів
ВШЗ	високошвидкісна залізниця
ВОЛЗ	волоконно-оптична лінія зв'язку
ГЛОНАСС	супутникова радіонавігаційна система (Росія)
ДА	дешифратор автоблокування
ДК	Диспетчерський контроль за рухом поїздів
ДНЦ	поїзний дільничний (вузловий) диспетчер
ДНЦО	черговий по відділенню
ДНЦС	старший диспетчер
ДС	начальник станції
ДСП	черговий на станції

ДТ	дросель-трансформатор
ДЦ	1) диспетчерська централізація стрілок і сигналів, 2) диспетчерський центр
ЄДЦУ	єдиний диспетчерський центр управління
ЄС	Європейський Союз (Євросоюз)
ІРРП	інтервальне регулювання рухом поїздів
КЕБ	електронне кодове автоблокування
КЛУБ	комплексний пристрій безпеки локомотива
КП	контрольний пост
КПР	контроль параметрів руху (електронний швидкостемір)
КПТШ	кодовий колійний трансмітер штепсельного типу
КЯ	кабельний ящик
ЛК	лінійне коло
МПЦ	мікропроцесорна централізація стрілок і сигналів
МСЗ (UIC)	Міжнародний союз залізниць
НАБ	напівавтоматичне блокування
ПМЦ (IPU)	процесорний модуль централізації
ПЗ	програмне забезпечення
КР (П)	колійне реле
РБ	1) ревізор з безпеки руху поїздів та автомобільного транспорту 2) ручка пильності машиніста локомотива
РД	рейковий датчик
РЛ	рейкова лінія
РПЦ	релейно-процесорна централізація
РШ	релейна шафа
РЦ	релейна централізація
САУТ	система автоматичного управління гальмами
СОК	система об'єктних контролерів
ССЗ	супутникова система зв'язку

СЦБ	сигналізація, централізація, блокування
ТКД	точковий колійний датчик
ТРК	тональні рейкові кола
TCI (TSI)	Технічні специфікації інтероперабельності оперативної сумісності
ПКПМ	пристрій контролю пильності машиніста
ПВО	пристрій відліку осей
ЦСЗТ	Рада із залізничного транспорту держав-членів Співдружності Незалежних Держав і Прибалтики
ЕПК	електропневматичний клапан
ECCO	електронна система контролю стану перегону шляхом відліку осей рухомого складу
ЕЦ	1) Електрична централізація стрілок і сигналів 2) Пост електричної централізації
DBAG	Німецькі залізниці
DMI	уніфікований інтерфейс машиніста локомотива
EIRENE	проект європейської інтегрованої мережі радіозв'язку з розширеними функціями
ERRI	Європейський інститут досліджень на залізничному транспорті
ERTMS	єдина система управління залізничним транспортом Європейського Співтовариства
ETCS	Європейська система безпеки та автоматичного контролю руху поїздів
EVC	безпечний локомотивний комп'ютер
FFB	радіотехнічна технологія управління поїздом
FC	Італійські залізниці
GPS NAVSTAR	Супутникова навігаційна система США

GSM-R	залізнична система мобільного зв'язку для передачі даних і голосової інформації на базі GSM
IPU (ПМЦ)	Interlocking Processing Unit (процесорний модуль централізації)
LEU	електронна колійна група об'єктів
MORANE	проект мобільного радіозв'язку для європейських залізниць
NS	Голландські залізниці
RBC	Радіо-блок-центр
RENFE	Іспанські залізниці
SNCF	Французькі залізниці
STM	спеціальний модуль передачі
TETRA	стандарт цифрових транкінгових радіосистем
TRACEKA	(Транспортний коридор Європа–Кавказ–Азія) – програма міжнародного співробітництва між Європейським Союзом та країнами-партнерами в організації транспортного коридору «Європа – Кавказ – Азія»

ВМІСТ

ВСТУП **8**

1 ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ, ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ **10**

1.1 Аналіз технічного стану пристроїв СЦБ на залізницях України . **10**

1.2 Перспективи розвитку залізничного транспорту в Україні, цілі та завдання на сьогодні **19**

1.3 Внесок телематичних функцій МПЦ у розвиток міжнародних транспортних коридорів через територію України **22**

1.4 Висновки, постановка мети і завдань дослідження **25**

2 ЄДИНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ **28**

2.1 Передумови для створення системи **28**

2.2 Цілі проекту та структура системи ERTMS/ETCS **29**

2.3 Транспондер Eurobalise **32**

2.4 Петля Euroloop **33**

2.5 Система радіозв'язку Euroradio **34**

2.6 Локомотивне обладнання Eurocab **34**

2.7. Перша ступінь оснащення ETCS (Рівень 1) **37**

2.8 Друга ступінь оснащення ETCS (Рівень 2) **38**

2.9 Третя ступінь оснащення ETCS (Рівень 3) **39**

2.10 Режими ведення поїздів **40**

3. МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ EBILOCK-950 ... **43**

3.1 Експлуатаційні та технічні характеристики системи **43**

3.2 Структура системи **46**

3.3 Процесорний модуль централізації **48**

3.3.1 Апаратні засоби ***48***

3.3.2 Структура обладнання ***49***

3.4 Методи забезпечення безпеки **50**

4. УВ'ЯЗКА ЕРТМС/ETCS ТА МПЦ EBILOCK-950 53

4.1 Досвід впровадження на зарубіжних залізницях 53

4.2 Спільне використання Ebilock-950 та ERTMS/ETCS на залізницях України 55

5. ВІДМОВИ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ 61

5.1 Вплив відмов пристроїв систем залізничної автоматики на поїзну роботу станцій 61

5.3 Підвищення показників надійності (безпеки і безвідмовності) МПЦ шляхом резервування. Аналіз ефективності систем резервування 64

5.4 Забезпечення надійного електроживлення МПЦ 77

ВИСНОВКИ 83

БІБЛІОГРАФІЯ 85

СПИСОК ЗОБРАЖЕНЬ 88

СПИСОК ТАБЛИЦЬ 90

ДОДАТКИ 91

АНОТАЦІЯ ТА КЛЮЧОВІ СЛОВА 92

ВСТУП

Сьогодні залізниці України безпосередньо межують і взаємодіють із залізницями Росії, Білорусі, Молдови, Польщі, Румунії, Словаччини, Угорщини, забезпечують роботу на 40 міжнародних залізничних перетинах, а також обслуговують 18 українських морських портів Чорноморсько-Азовського басейну. Україна має один з найвищих транзитних коефіцієнтів у Європі. Пріоритетним завданням для України сьогодні є реалізація її транзитного потенціалу як сухопутного мосту між Європою та Азією.

Що стосується технічних характеристик сусідніх держав, то вони такі: Латвія, Литва, Естонія (держави ЄС) мають колію 1520 мм, Фінляндія – колію 1524 мм, Польща і Словаччина – 1435 мм і окремі залізничні лінії з колією 1520 мм. Білорусь, Молдова, Росія і Україна мають колію 1520 мм.

Зараз, зважаючи на військову агресію Російської федерації і блокування нею роботи практично усіх українських морських портів, особливо актуальним стає залізничне сполучення України з країнами Європейського Союзу. Крім цього, 28 лютого 2022 року президент, прем’єр та спікер спільно підписали заявку на членство у Європейському Союзі європейської держави Україна, а 23 червня 2022 року країни – члени Європейського Союзу проголосували за надання Україні статусу країни кандидата на вступ до Європейського Союзу. Зважаючи на зазначене, Україні необхідно провести значну роботу у напрямку співпраці в сфері транспортної політики з метою уніфікації своїх залізничних мереж з мережами країн ЄС, надання їм можливості взаємодіяти один з одним, забезпечити імплементацію політик доступності та інтероперабельності мереж. Звичайно, обраний шлях дуже складний і довгий, його необхідно вирішувати, крім технічних питань, юридичні, економічні, питання безпеки і т.д. Зміни торкнуться всіх секторів Укрзалізниці, включаючи системи цінних паперів, документації, сертифікації та безпеки.

Одним з перших кроків на шляху до інтероперабельності вітчизняних систем автоматизації є впровадження мікропроцесорних систем, які легше

інтегрувати або стикувати з іншими, ніж релейні системи. Крім того, є ще причини, за якими необхідно впроваджувати мікропроцесорні централізації на залізничних станціях України. Перша причина полягає в тому, що величезна кількість релейних систем електричних централізацій (ЕЦ) побудовані в минулому столітті та працюють вже дуже давно. Тому необхідно стежити за тим, щоб темпи впровадження нових систем випереджали темпи старіння обладнання.

Разом з фізичним відбувається і моральне старіння релейних систем ЕЦ. З широким впровадженням інформаційних технологій в процес транспортування і управління залізничним транспортом релейні системи важко інтегрувати у відповідні інформаційно-обчислювальні структури. Для такої інтеграції функціональні та інформаційні можливості релейних систем, їх швидкість недостатні, крім того, потрібні додаткові перехідні пристрої і перетворювачі електричних сигналів. При цьому мікропроцесорні централізації повністю задовольняють сучасним вимогам.

Введення в експлуатацію нових мікропроцесорних централізацій супроводжується не тільки рядом переваг, але і рядом недоліків, які необхідно усунути при подальшій реалізації цих нових систем.

При розробці мікропроцесорних систем централізації необхідно чітко уявляти собі функції окремих вузлів схеми реле ЕЦ. Слід враховувати, що модернізуючи технічні засоби, ми не змінюємо їх функціональне призначення.

Відповідно до вищевикладеного, *метою роботи є* розробка рішень щодо увязки європейської системи управління рухом поїздів ERTMS/ETCS з мікропроцесорною централізацією Ebilock950, а також оцінка безпеки системи відповідно до технічних умов інтероперабельності (TSI) для використання на мережі Укрзалізниці.

Об'єктом досліджень в даній роботі є європейська система управління поїздами ERTMS / ETCS і мікропроцесорна централізація.

Предметом дослідження є система увязки системи управління поїздом ЕРТМС / ETCS з мікропроцесорною централізацією Ebilock950.

1 ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ, ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз технічного стану пристроїв СЦБ на залізницях України

Вибір розвитку сигнальних систем, централізації, блокування на залізницях України був визначений ще за часів СРСР. Темпи оновлення і впровадження нових систем були досить високими. З початку 90-х років тенденція модернізації систем автоматизації значно знизилася. На сьогоднішній день темпи оновлення фізично зношених і застарілих пристроїв Центральної системи безпеки недостатні, загальний знос яких становить приблизно 79%. Прогресуюче старіння пристроїв СЦБ спостерігається на Придніпровській, Одеській та Львівській залізницях.

Порівняльна динаміка зносу технічних засобів господарств служби «Ш» залізниць України станом на 01.01.2022 наведена на діаграмі (рис. 1).

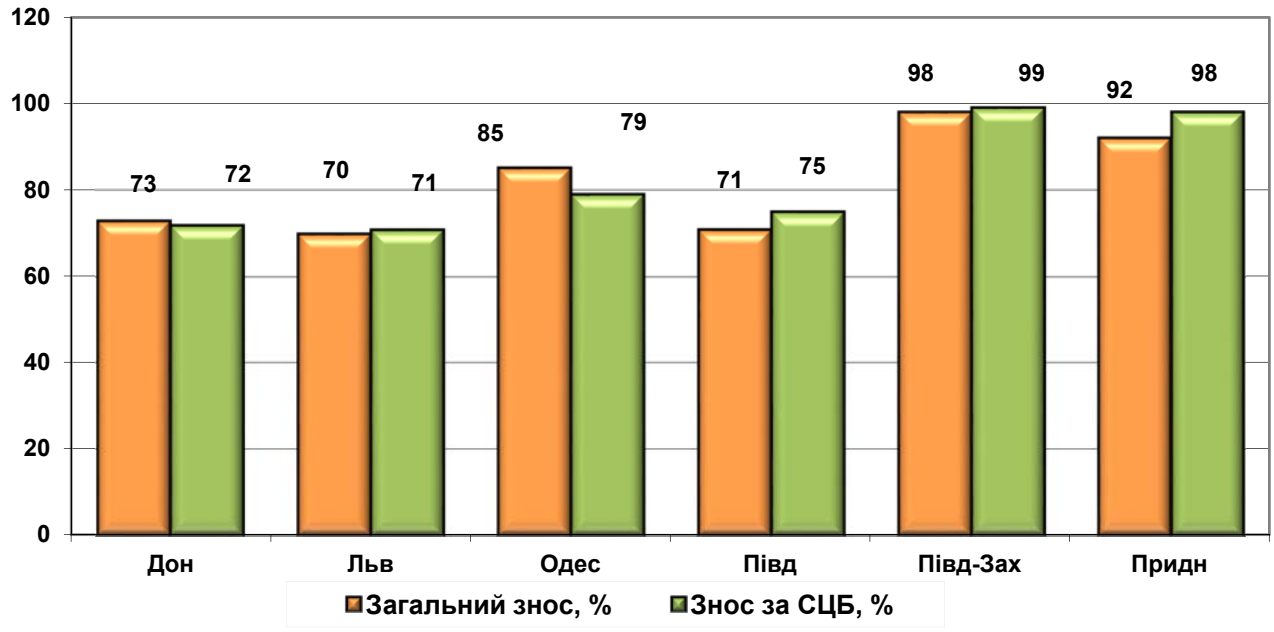

Рисунок 1 – Діаграма стану пристроїв СЦБ на дорогах станом на 01.01.2022

Динаміка зносу пристроїв СЦБ на залізницях України у відсотковому відношенні за десять останніх років (2005 – 2014 рр.) наведена в табл. І.

Таблиця І – Динаміка зносу пристроїв СЦБ на залізницях України

Роки / Залізниця	2012	2013	2014*	2015*	2016*	2017*	2018*	2019*	2020*	2021*
Донецька	74	72	77	81	76	75	76	74	73	72
Львівська	53	54	56	56	63	65	68	71	73	71
Одеська	75	72	75	72	54	78	90	98	84	79
Південна	63	59	57	68	85	82	95	73	73	75
Південно-Західна	76	66	57	59	98	98	98	98	98	99
Придніпровська	74	70	72	75	96	97	98	96	97	98

* без урахування анексованих територій Донецької та Луганської областей та А/Р Крим

Крім того, якщо проаналізувати транспортні події на залізницях України у 2021 році, то через старіння пристроїв припадає майже третина всіх транспортних подій (рис. 2).

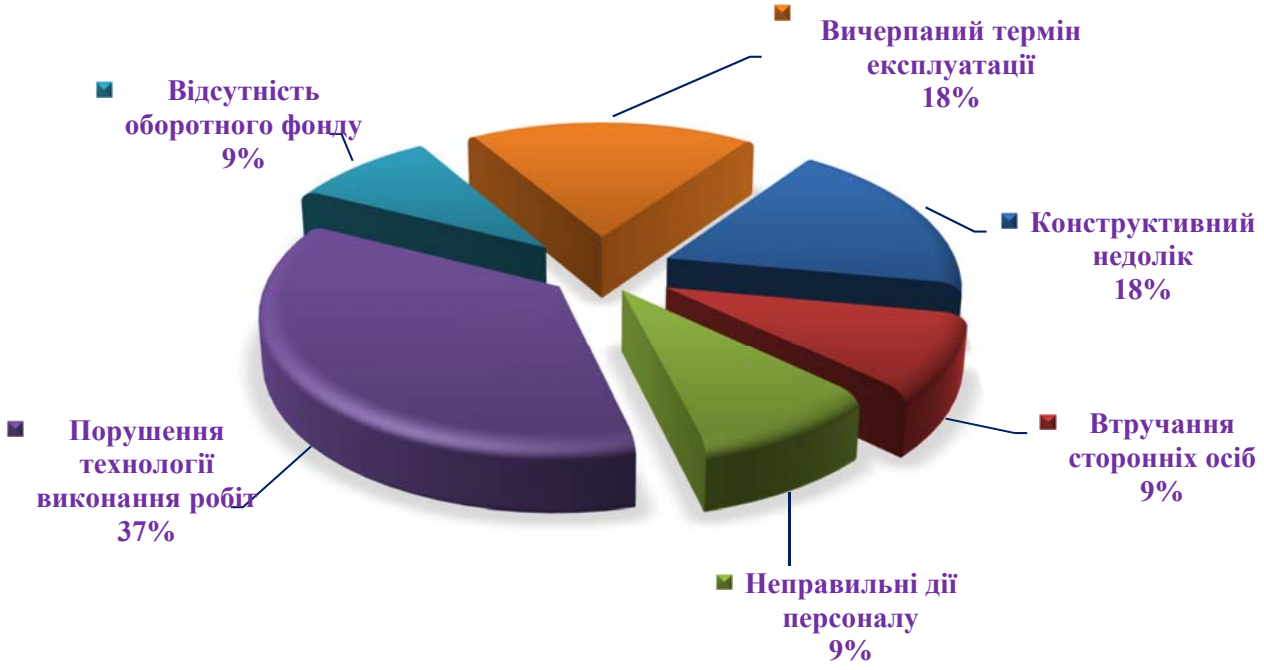

Рисунок 2 – Схема розподілу транспортних подій за причинами

Причому, якщо порівнювати дані за 2021 рік з даними 2020 року, то збільшилася кількість транспортних подій, викликаних цією причиною (табл. ІІ).

Таблиця ІІ – Розподіл транспортних подій за причинами

Причина транспортної події	Кількість*						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1 Порушення технології виконання робіт	5	8	8	6	5	4	4
2 Стихія	-	-	1	-	-	-	-
3 Неоперативне усунення несправності	4	-	-	-	-	-	-
4 Недосконаліть технології	1	-	-	-	-	-	-
5 Конструктивний недолік	1	-	-	-	2	2	2
6 Неправильні дії персоналу	4	3	4	4	3	1	1
7 Старіння пристроїв	-	5	1	-	-	-	2
8 Відсутність оборотного фонду	-	-	-	-	-	-	1
9 Втручання сторонніх осіб	-	2	2	1	2	4	1
РАЗОМ:	**15**	**18**	**16**	**11**	**12**	**11**	**11**

* без урахування подій на анексованих територіях Донецької та Луганської областей та А/Р Крим

Багаторічна практика показує, що на частку пристроїв ЕЦ припадає менше половини маршрутних браків на станції, більшість порушень і аварій відбувається з вини експлуатаційного персоналу. Основні причини цього: втома, неуважність, низька дисциплінованість, поспіх, невірна інформація, відсутність досвіду. Слід підкреслити, що брак в роботі ДСП, як правило, має місце в тих випадках, коли ЕЦ частково або повністю перестає функціонувати. Наприклад, при прийомі або відправленні поїзда за сигналом запрошення, відключення пристроїв СЦБ із залежності. Оперативний персонал допускає масу помилок при роботі з негабаритними, небезпечними вантажами, закріпленні вантажів, видачі попереджень працівникам на коліях. У всіх цих та інших ситуаціях релейні системи централізації ніяк не можуть допомогти черговому і його помічникам. Подальше розширення їх функцій значно ускладнює технічні засоби, знижує надійність, ускладнює обслуговування. Отже, ми зіткнулися з таким поняттям, як «людський фактор», який при заданих технічних умовах чинить величезний вплив на безпеку. Якщо проаналізувати статистику за останні роки, то на залізницях України щорічно із загальної кількості всіх транспортних подій приблизно 70-80% відбуваються за рахунок «людського фактору» (рис. 3). Зазвичай, не всі вони пов'язані з роботою ДСП. Але той факт, що багато поїзної та маневрової роботи

залежить від дій чергового по станції, дає нам впевненість в тому, що дана статистика найбільше підходить для характеристики такої напруженої та відповідальної роботи, про що нам наочно свідчить діаграма транспортних подій (рис. 4).

Рисунок 3 – Діаграма транспортних подій на залізницях України

Крім того, така причина, як відсутність досвіду також негативно впливає на безпеку і відображається на схемі транспортних подій за стажем роботи (рис. 5).

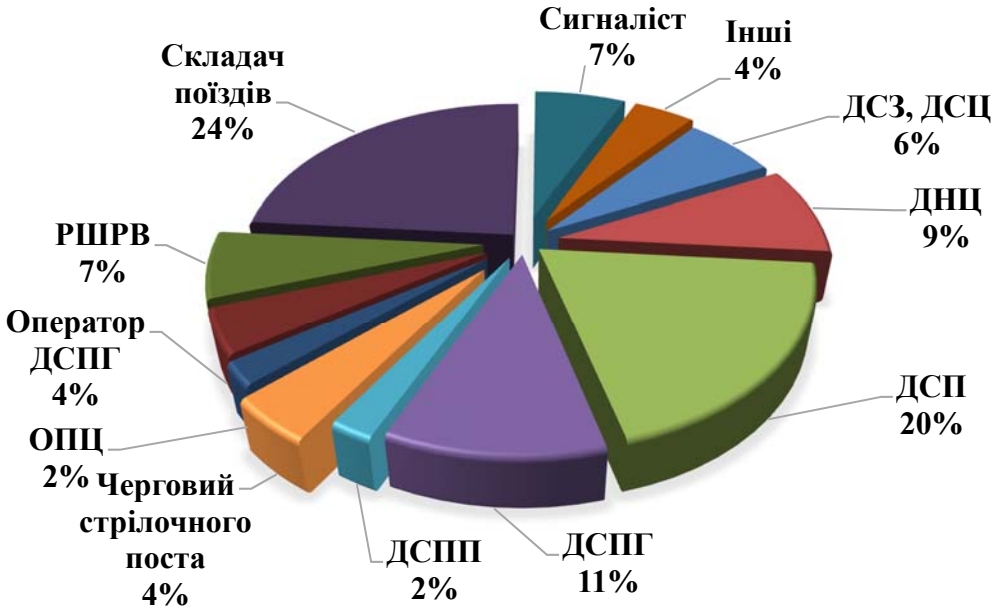

Рисунок 4 – Схема транспортних подій за професіями у 2021 році

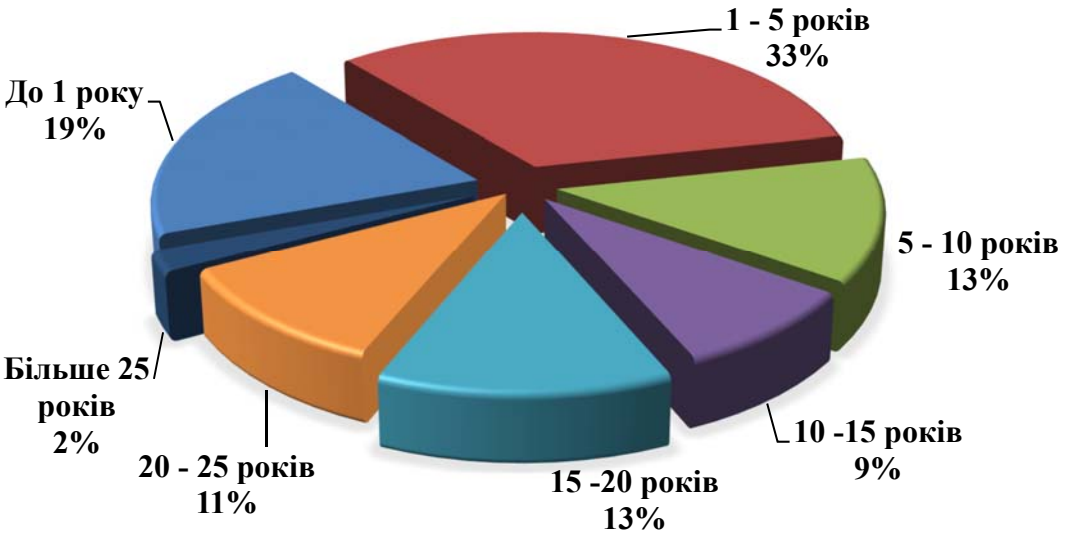

Рисунок 5 – Діаграма розподілу транспортних подій за вислугою років працівників у 2021 році

На даний час багато аспектів діяльності ДСП, пов'язаної з безпекою, взагалі не перевіряються електричними залежностями. У цих ситуаціях безпеку забезпечують суб'єктивні фактори: пам'ять людини, ступінь її сумлінності, її фізіологічний стан. Як бачимо, існуючі релейні системи морально застаріли і не дозволяють зменшити вплив «людського фактору» на загальну картину безпеки. Мікропроцесорні системи, маючи пам'ять, дозволяють деякий час продовжувати функціонувати без інформації з датчиків. Так, наприклад, при пошкодженні схем рейкових кіл або стрілок мікропроцесорна система може частково функціонувати на основі інформації, яка була до виходу з ладу колійних об'єктів. Мікропроцесорна система буде «пам'ятати» про локомотив в тупику, не обладнаному ізоляцією, або про колійну бригаду на ділянці скільки завгодно довго. МПЦ володіють значно ширшим спектром функціональних можливостей, аніж релейні. До переваг МПЦ у порівнянні з релейними системами централізації зокрема можна віднести:

• вищий рівень надійності за рахунок дублювання багатьох вузлів, у тому числі центрального процесора – ядра МПЦ і безперервного обміну інформацією

між цим процесором і об'єктами управління і контролю (що також сприяє підвищенню рівня безпеки);

• можливість управління об'єктами багатьох станцій та перегонів з одного робочого місця;

• можливість інтеграції управління перегінними пристроями СЦБ і пристроями контролю стану рухомого складу в одному станційному процесорному пристрої;

• розширений набір технологічних функцій, включно із замиканням маршруту без відкриття світлофора, блокування стрілок у необхідному положенні, заборону показань світлофора, ізольовані ділянки для виключення задавання маршруту тощо;

• забезпечення оперативно-технічного персоналу розширеною інформацією про стан сигнальних пристроїв на станції з можливістю передачі цієї та іншої інформації в центр управління перевезеннями;

• можливість централізованого і децентралізованого розміщення об'єктних контролерів для управління станційними і перегінними об'єктами. Децентралізоване розміщення контролерів об'єктів дозволяє значно знизити питому витрату кабелю на централізовану стрілку;

• відносно просте стикування з системами більш високого рівня управління;

• можливість безперервної фіксації дій оперативного персоналу щодо управління об'єктами і всієї поїзної ситуації на станціях і перегонах;

• наявність вбудованого діагностичного моніторингу стану апаратних засобів централізації та об'єктів управління і контролю;

• можливість реєстрації номерів поїздів, які слідують станціями і перегонами, а також усіх відмов об’єктів управління;

• значно менші габарити обладнання і, як наслідок, в 3 - 4 рази менший об’єм приміщень для його розміщення, що дає можливість замінити застарілі системи централізації без будівництва нових постів;

• значно менший обсяг будівельно-монтажних робіт;

• зручна технологія перевірки залежностей без виготовлення макета за рахунок використання спеціалізованих засобів відлагодження;

• скорочення часу виключення з експлуатації станційних і перегінних пристроїв у випадках зміни колійного розвитку станції і пов'язаних з ним залежностей між стрілками і сигналами;

• можливість використання в якості середовища для передачі інформації між контрольними пристроями і керованими об'єктами не тільки кабелів з мідними жилами, а й оптоволоконних кабелів;

• можливість отримання з архіву параметрів роботи колійних пристроїв СЦБ для подальшого прогнозування їх стану або планування ремонту і налагодження, запобігаючи повним виходам з ладу цих пристроїв;

• зниження експлуатаційних витрат за рахунок зниження енергоємності системи, зменшення приблизно на порядок кількості електромагнітних реле та довжини внутрішньопостових кабелів, використання сучасних необслуговуваних джерел живлення, виключення з експлуатації громіздких пультів управління і маніпуляторів з великою кількістю ручок і кнопок механічної дії.

При цьому весь перелік основних функцій мікропроцесорної централізації ділиться на три групи управління, контролю і обслуговування (сервісні). Перші дві несуть безпосередню відповідальність за безпеку.

Контрольні функції:

• контроль правильності встановлення маршрутів;

• контроль за роботою ДСП, особливо в ситуаціях часткового або повного відключення пристроїв СЦБ,

• контроль стану пристроїв СЦБ із фіксацією пошкоджень;

• контроль роботи електромеханіка;

• технічна діагностика пристроїв централізації, особливо колійного обладнання.

Функції управління:

• встановлення маршрутів будь-якої складності, протяжності та категорії;

• накопичення маршрутів як неворожих, так і ворожих;

• замикання маршруту без відкриття світлофора;

• замикання окремих секцій і стрілок;

• автоматичне розмикання ділянок маршруту;

• користування запрошувальними сигналами;

• роздільне управління стрілками, встановлення маршруту в режимі допоміжного управління;

• автоматичне переведення стрілки з середнього положення, повторне переведення;

• виключення перекриття сигналу при помилкових діях ДСП;

• автоматичне встановлення маршрутів;

• відміна маршруту і набору.

Сервісні функції – це функції, які взагалі не властиві для релейних систем. Їх завдання допомагати ДСП при встановленні маршрутів, видачі попереджень, вести необхідну документацію тощо.

Також слід підкреслити важливість використання оптоволоконних кабелів. Тенденція розвитку сучасних технологій в більшості випадків спрямована на використання нових нестандартних матеріалів для побудови обладнання, альтернативного існуючому, що має меншу вартість. Звідси і потреба у використанні волоконно-оптичних кабелів замість мідних. Найпоширеніший тип кабельної системи - вита пара. Розрізняють системи для додатків з частотою: до 16 МГц – категорія 3, до 20 МГц – категорія 4, до 100 МГц – категорія 5. Усі системи працюють з кабелями довжиною до 100 м. При аналогічних цінах оптичний кабель можна використовувати для застосувань з частотами в кілька сотень мегагерц на відстанях понад 2000 м. А якщо враховувати витрати на життєвий цикл системи, включаючи можливе старіння і вихід з ладу компонентів, то оптичній кабельній системі однозначно можна віддати перевагу перед мідною. Отже, до переваг оптоволоконних кабелів можна віднести наступні характеристики:

1. Інформаційна ємність. Пропускна здатність оптоволокна перевищує всі потреби сучасних мережевих застосувань. Рекомендований для використання в

будівлях оптоволоконний кабель 62,5/125 мкм має смугу пропускання 160 МГц-км (при довжині хвилі 850 нм) або 500 МГц-км (при 1300 нм). Пропускна здатність залежить від частоти і відстані, тому при довжині оптичного кабелю в 100 м її ширина перевищує 1 Гц (мідний кабель категорії 5 з такою ж довжиною має смугу пропускання 100 МГц).

2. Низькі втрати. Завдяки низьким втратам є можливість працювати на великі відстані. Для оптичного волокна максимальна рекомендована відстань становить 2000 м. (Якщо порівнювати з міддю, то це відстань становить 100 м.) Принциповим недоліком мідного кабелю є те, що втрати збільшуються зі збільшенням частоти сигналу. Іншими словами, зі збільшенням швидкості передачі даних збільшуються втрати і зменшуються відстані. Оптоволокно не має цього недоліку.

3. Стійкість до електромагнітних впливів. За деякими оцінками, більше 60% відмов в мережах на основі міді пов'язані з кабельними системами. Перехресні спотворення, неузгодженність, електромагнітна сприйнятливість є основними джерелами шуму і збоїв у роботі мідних систем. Більше того, ці проблеми загострюються при неправильному монтажі кабельної системи, особливо для систем категорії 5.

Волоконна оптика є діелектриком і несприйнятлива до електромагнітних впливів. Перехресні спотворення тут неможливі. Використання оптоволокна можливе в умовах сильних електромагнітних полів. На нього не впливають такі джерела шуму, як лінії електропередач, люмінесцентні лампи тощо.

1. Незначна вага. Оптоволоконний кабель легше мідного. Двожильний оптичний кабель на 20-50% легше 4-парного кабелю категорії 5. Менша вага полегшує процес монтажу.

2. Менший розмір. Оптоволоконний кабель займає менше місця. 2-жильний оптичний кабель потребує на 15% менше місця, ніж кабель категорії 5.

3. Безпека. Оптоволоконний не іскрить. У плані загоряння і виділення газу оптоволоконні кабелі та вита пара мають однакові параметри.

4. Секретність. Підключитися до оптичних кабелів вкрай складно, і таке з'єднання не може бути непоміченим. А, оскільки оптичні кабелі не випромінюють, передачі ними перехопити неможливо.

Ці переваги відомі з моменту появи оптоволокна. Вони втрачалися у порівнянні з незручністю роботи з оптоволокном.

З огляду на вищевикладений аналіз, робимо висновок, що необхідна повна модернізація пристроїв СЦБ. У якому напрямку буде проведена модернізація, точно невідомо, однак, якщо брати до уваги курс інтеграції України до ЄС, то відповідно неважко припустити курс розвитку систем СЦБ.

1.2 Перспективи розвитку залізничного транспорту в Україні, цілі та завдання на сьогодні

Україна розташована на перехресті важливих транспортних шляхів між державами. Вигідне економіко-географічне положення України щодо держав Західної Європи, Балтії, країн Близького і Середнього Сходу, Північної та Східної Африки за сприятливих умов може широко використовуватися для транзитних перевезень вантажів і пасажирів залізничним транспортом. У цьому зацікавлена не тільки Україна, а й держави, які будуть використовувати найкоротший маршрут через її територію.

Експорт транспортних послуг –дуже вигідний бізнес, оскільки реалізується не сировина або матеріальні ресурси, а послуги. Однак, в той же час, транзитні перевезення вимагають додаткових вкладень для відповідного обслуговування та експлуатації. Залізничний транспорт є найбільш екологічним у порівнянні з іншими, особливо це проявляється на тлі автомобільного транспорту в плані забруднення повітря. Крім того, залізниця з такою ж пропускною здатністю займає менші земляні ділянки, ніж дорога. У зв'язку з цим переорієнтація транзитних перевезень з автомобільних на залізничні має стати однією з головних цілей національного завдання на найближчий час.

Україна успадкувала потужну залізничну систему, здатну добре взаємодіяти з іншими системами цього територіального простору. Це стало наслідком

історичних, політичних, географічних факторів. Розпад СРСР призвів до того, що кожна країна самостійно розвиває власну транспортну систему, тому залізниці цих країн починають набувати нових відмінних один від одного рис. Однак і сьогодні існує ряд факторів, які змушують залізниці співпрацювати для реалізації спільних проектів.

Розвиток економіки України без використання ресурсів залізничного транспорту немислимий. У свою чергу, залізниця може розвиватися тільки тоді, коли є необхідність в її ефективному використанні. Цей логічний ланцюжок є стратегічним завданням нашої держави, метою якого є економічний розвиток країни при збереженні високих екологічних стандартів перевезень.

У зв'язку з цим основною проблемою, яка потребує вирішення, є інтеграція залізничного транспорту України до міжнародної транспортної мережі, підвищення інтероперабельності та безпеки залізничного транспорту.

Для побудови транспортних коридорів необхідна якісна взаємодія з сусідніми країнами. У зв'язку з цим, як зазначалося раніше, залізнична мережа України не має проблем з мережами держав, які раніше входили до складу СРСР. Але для того щоб встановити оперативно сумісний зв'язок із залізничною мережею західних країн, таких як Польща, Словаччина, необхідно вирішити ряд технічних, юридичних, економічних питань, тобто уніфікувати свої національні залізниці в одну загальну мережу.

Характерним явищем у законотворчій діяльності ЄС, що стосується також і транспортної сфери, є випуск так званих «Білих книг». Білі книги не є законодавчими актами, але вони окреслюють напрямок діяльності інститутів та законодавчих органів ЄС на довгострокову перспективу.

Попередня Біла книга транспорту була прийнята у 2001 році і мала назву «Європейська транспортна політика до 2010 року – час вирішувати». З моменту її випуску відбулося відкриття ринків у сфері авіаційних, автомобільних і, частково, залізничних перевезень. Транс'європейські транспортні мережі (TEN-T) сприяли підвищенню територіальної взаємодії та запровадженню високошвидкісних залізничних магістралей.

При погодженні (гармонізації) Україною нормативних документів із вимогами норм країн ЄС необхідно буде у цих документах передбачити й те, що на даний час реалізовується в країнах ЄС. «Біла книга» передбачає появу нових транспортних схем, які будуть здатні забезпечувати одночасну доставку значної кількості пасажирів до пунктів призначення з використанням найбільш ефективних видів транспорту (та їх поєднання).

Передбачається переважне використання залізничного транспорту для пасажирських перевезень та мультимодальних рішень для вантажних перевезень із переважним застосуванням для перевезень на великі відстані залізничного та водного транспортів. Зокрема, стосовно залізничного транспорту у Білій книзі поставлені наступні задачі:

– тридцять відсотків від об'єму вантажних перевезень на відстані більше 300 км до 2030 року повинно бути перерозподілено на інші види транспорту, у тому числі на залізничний та водний;

– до 2050 року більшість пасажирських перевезень на середні відстані повинні виконуватись залізничним транспортом.

Крім цього у країнах ЄС передбачається: для пасажирських перевезень – переважне застосування залізничного транспорту; для вантажних перевезень на великі відстані – використання мультимодальних рішень з перевагою у застосуванні залізничного та водного транспортів.

Процес уніфікації, іншими словами, процес переходу від однієї структури до іншої, дуже тривалий і складний, в ході якого значно знижується рівень безпеки, що необхідно враховувати. Для вирішення цього завдання необхідно використовувати весь науково-технічний потенціал, а також ретельно вивчити всі переваги і недоліки процесів з'єднання залізничних мереж Західної і Центральної Європи.

1.3 Внесок телематичних функцій МПЦ у розвиток міжнародних транспортних коридорів через територію України

Територією України проходять три пан'європейські коридори (№ 3, 5 та 9). Через українські порти Ізмаїл та Рені залізниці України взаємодіють із загальноєвропейським коридором № 7, який проходить по Дунаю. Активно розвиваються перевезення по міжнародних транспортних коридорах ТРАСЕКА Європа - Кавказ - Азія і Чорне море - Балтійське море. На даний час країнами ЄС створюється Транс'європейська транспортна мережа (TEN-T) рис. 6. Метою цієї мережі є з'єднати Європу із заходу на схід і з півночі на південь мережею автодоріг, залізниць, аеропортів і водних шляхів. Розвиток транспортної системи відбуватиметься у два етапи: до 2030 року має бути завершено побудову "ключової" мережі та до 2050 року – "спільної" мережі. Україна увійшла до TEN-T у 2017 році. Відповідно до Індикативного Інвестиційного Плану Європейської Комісії розвитку TEN-T коридорів, до 2030 в Україні планується реалізувати проєкти на загальну суму 4,45 млрд євро. Це найбільший показник серед всіх держав «Східного партнерства» ЄС. У Липні 2022 року на сайті Мінінфраструктури з’явилося повідомлення про те, що Європейська Комісія внесла зміни до індикативних мап Транс’європейської транспортної мережі (TEN-T), включивши в неї українські логістичні шляхи.

Це рішення є стратегічним кроком у процесі інтеграції України в ЄС та сприятиме реалізації ініціативи «Шляхи солідарності» щодо експорту української аграрної продукції та доставки гуманітарної допомоги в Україну.

Також, у зв’язку із агресією Єврокомісія виключила з мережі TEN-T російські та білоруські маршрути, а також понизила в статусі маршрути на території ЄС на стиках з цими країнами-агресорами.

Проходження величезної кількості транзитних поїздів територією України супроводжується значними обсягами інформації (про вантажі, терміни доставки, місця навантаження та розвантаження тощо). З огляду на зростаючий транзит, природно, що зросте і обсяг інформації. У зв'язку з цим оптимізація даної

транспортної мега-системи повинна здійснюватися за рахунок використання нових комунікаційних та інформаційних технологій.

Внесок телематичних послуг у стійкість транспортної системи полягає в тому, що, як правило, типовий профіль поняття телематики спрямований на: 1) розвиток економіки; 2) безпеку; 3) навколишнє середовище.

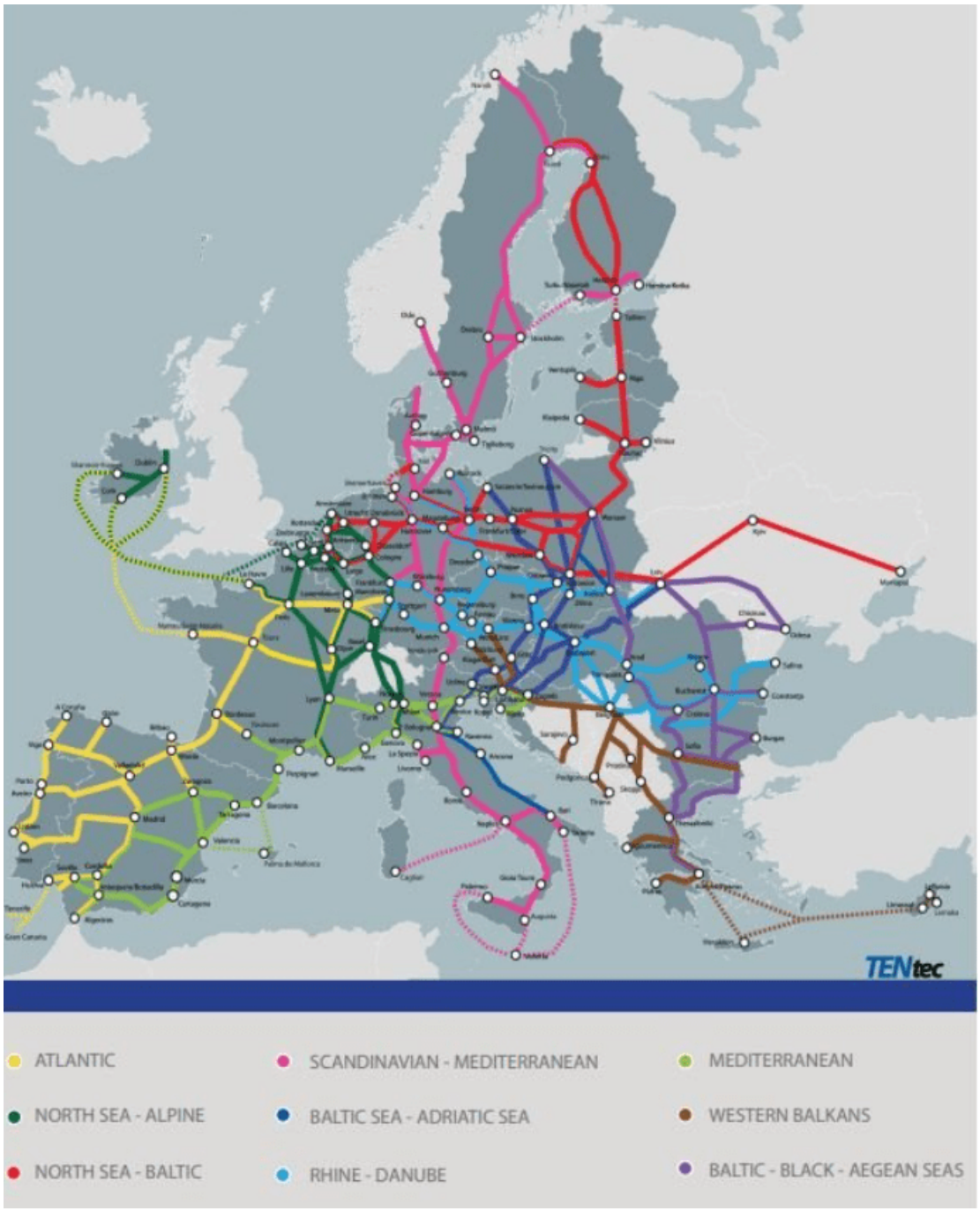

Рисунок 6 – Транс'європейська транспортна мережа (TEN-T) із включеними маршрутами на території України

Для підвищення ефективності транспортних систем потрібно забезпечити розвиток телематики.

Можливі переваги телематики зрозумілі. Вона забезпечить рівномірний потік перевезень на автомобільних і залізничних дорогах, мінімізацію термінів доставки, кращу адаптації процесів обміну інформацією про габарити, фактичні витрати, графіки використання небезпечних матеріалів, управління ризиками і режими деградації. Цілі: Покращення доступу до залізничних терміналів, портів, промислових зон та кар'єрів. Об'єктам, доступним для залізниці чи залізничного транспорту, буде надано пріоритет у розробці земляних робіт та економічному розвитку. Партнерські відносини повинні розглядатися як перевізниками, так і виробниками.

Забезпечення достатньої уваги до вантажних перевезень, а саме пошук маловживаних коридорів або другорядних маршрутів, які не потребують особливого переобладнання і в той же час підвищують пропускну здатність, швидкість і гнучкість транспорту. Гармонізоване та сумісне (інтероперабельне) використання телематики, зокрема таке як відстеження вантажів, може підвищити якість та вартість додаткових послуг та підвищити ефективність та надійність всього транспорту.

Підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту на міжміських перевезеннях, що передбачає включення в європейські ініціативи (трансрегіональні взаємозв'язки, інтероперабельність, створення транснаціональних часових періодів для здійснення перевезень).

Соціальним завданням телематики є підвищення продуктивності залізничних перевезень в мультимодальних вантажних перевезеннях для приватних операторів, забезпечення безпеки і надійності при перевезенні небезпечних вантажів шляхом створення ефективної системи відстеження та інтероперабельності, що гарантує підзвітність і відповідальність. Надати навантажувачам і перевізникам (особливо портовим перевізникам) можливість вибору рейкових або змішаних рішень до і після доставки вантажу.

Як бачимо, розвиток телематики та інформаційних технологій може здійснюватися тільки за рахунок нової сучасної комп'ютерної техніки. На даному етапі переваги мікропроцесорних централізацій перед релейними централізаціями очевидні. Зокрема, МПЦ володіють рядом сервісних функцій, таких як:

• видача рекомендацій ДСП при встановленні маршрутів в залежності від довжини поїзда, характеру вантажу, ступеня його габаритності;

• видача рекомендацій щодо закріплення вантажів;

• автоматична видача попереджень колійним бригадам;

• облік місцевих вантажів, вагонів, місцевої роботи;

• ведення документації, необхідної для ДСП.

На закінчення важливо сказати, що використання телематики може зіграти вирішальну роль у звільненні залізничних вантажоперевезень від їх обмежень з метою забезпечення більш високої транзитності, підвищення рівня безпеки перевезень небезпечних вантажів, розвитку інших перспективних сервісів доступу до інформаційних ресурсів.

1.4 Висновки, постановка мети і завдань дослідження

Аналітичний огляд дозволяє зробити наступні висновки:

1) Системи управління рухом поїздів на українських залізницях, здебільшого, морально і фізично застаріли, ступінь зношеності основних технічних засобів на дорогах становить понад 80%. Такий стан обумовлює потребу у їх заміні новими мікроелектронними і комп'ютерними системами управління з використанням сучасних інформаційно-управляючих технологій.

2) Інтеграція українських залізниць у загальноєвропейську транспортну систему висуває вимоги щодо гармонізації організаційних заходів та технічних рішень для безперешкодного швидкого та безпечного переміщення вантажів і пасажирів до місця призначення на міждержавному просторі.

3) Реорганізація українських залізниць має відбуватися з урахуванням обов'язкових директив та технічних специфікацій інтероперабельності у сфері залізничного транспорту, прийнятих у Європейському Союзі.

4) Системи управління поїздами повинні бути побудовані відповідно до системи ERTMS / ETCS, розробленої в Європі на перегонах і мікропроцесорних систем управління рухом на станціях.

5) Системи ERTMS та МПЦ на перших етапах впровадження плануються до використання з національними колійними пристроями СЦБ: рейковими колами, стрілочними переводами, світлофорами тощо.

6) Використання мікроелектронних і комп'ютерних систем управління поїздами підвищує актуальність проблеми забезпечення їх функціональної безпеки, що особливо важливо на першому етапі впровадження, оскільки при поетапному введенні в експлуатацію нових систем вони будуть функціонувати паралельно зі старими сигнальними пристроями.

7) Впроваджені в Україні в останні роки пристрої МПЦ розроблені без урахування їх зв'язку з європейськими системами. Реалізація цих систем точкова і хаотична.

8) Функціональна безпека систем управління рухом поїздів відповідно до європейських регламентів (Директив, TSI) та національних регламентів повинна бути забезпечена впродовж усього життєвого циклу системи від розробки концепції та проектування до зняття з експлуатації та утилізації.

9) Перехід від старих систем автоматизації до новіших, які не були достатньо випробувані на практиці, дуже тривалий і складний, під час яких рівень безпеки дуже знижується. Цю особливість необхідно враховувати при проектуванні та впровадженні нових пристроїв управління поїздами.

10) Сучасний стан економіки не завжди сприяє прийняттю рішень про придбання або модернізацію залізничних систем автоматики. Ідеальним рішенням буде придбання систем, які в цілому або здебільшого відповідають вимогам, зазначеним в цільових специфікаціях TSI. Виконання цих вимог відкриває можливість необмеженої співпраці вітчизняної залізничної мережі з європейською.

Відповідно до викладеного вище, метою роботи є розробка рішень щодо ув'язки європейської системи управління рухом поїздів ERTMS/ETCS з

мікропроцесорною централізацією Ebilock950, а також оцінка безпеки системи відповідно до технічних умов інтероперабельності (TSI) для спільного використання на Укрзалізниці.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1) Розглянути принципи побудови та функціонування європейської системи управління рухом поїздів ERTMS та мікропроцесорної централізації Ebilock950.

2) Розробити рішення щодо ев'язкb європейської системи управління поїздами ERTMS та МПЦ.

3) Розглянути методи оцінки безпеки мікропроцесорних систем управління поїздами.

Об'єктом досліджень в даній роботі є європейська система управління поїздами ERTMS / ETCS і мікропроцесорна централізація.

Предметом дослідження є система ув'язки системи управління поїздом ERTMS / ETCS з мікропроцесорною централізацією Ebilock950.

2 ЄДИНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ

2.1 Передумови для створення системи

У Західній Європі різні приватні залізничні компанії створили власні залізничні мережі, межі яких відповідають державним кордонам. Особливо на формування цих мереж сильно вплинули процеси розорення, злиття, купівлі, націоналізації, а також економічні кризи. Об'єднати залізниці в одну мережу і налагодити взаємодію з залізницями країн Східної Європи, які є виходом в Азію – ось основні цілі Європейського співтовариства. Тому пріоритетом було визначено об'єднання залізничних мереж у одну систему, а фактором, який прискорював цей процес, була економіка.

Економічна інтеграція європейських країн сприяє розвитку міжнародних залізничних перевезень. Однак, щоб поїзд безперешкодно перетинав державні кордони, необхідно паралельно оснастити локомотив кількома системами АЛС. У зв'язку з великою кількістю нових систем безпеки поїздів і стрімким розвитком електроніки ситуація на залізничному транспорті значно ускладнюється. Також ситуація ускладнюється конкуренцією автомобільного та авіаційного транспорту в швидкій доставці пасажирів і вантажів. Відмінності в залізничній інфраструктурі європейських країн викликають значні затримки міжнародних перевезень, внаслідок чого швидкість пересування низька.

З метою зниження витрат на різні системи локомотивної сигналізації і збільшення швидкості руху поїздів в міжнародному сполученні було висунуто пропозицію про створення єдиного стандарту розвитку систем АЛС в Європі. Проект створення європейської системи управління перевізним процесом на залізничному транспорті (ERTMS) був ініційований в 1995 році Європейською Комісією. Основою проекту стала система контролю та безпеки руху поїздів ERTMS/ETCS (ERTMS – European Rail Traffic Management System – Європейська система управління рухом поїздів; ETCS – European Train Control System – Європейська система контролю за слідуванням поїздів).

Для розробки технічного завдання і проведення випробувань в серпні 1995 року була сформована так звана група користувачів ERTMS, до складу якої увійшли залізниці Німеччини (DBAG), Італії (FS) і Франції (SNCF). Ця група почала свою роботу в грудні 1995 року в Брюсселі. У листопаді 1997 року до неї приєдналися залізниці Нідерландів (NS) та Іспанії (RENFE), а на початку 1998 року також Railtrack (Великобританія). У 2000 році Європейський Союз затвердив єдину систему управління рухом поїздів, забезпечення безпеки та сигналізації на транс'європейській високошвидкісній мережі залізниць.

Першим серйозним завданням групи було складання технічної специфікації, яка була б розрахована на дію в європейському масштабі. При цьому опиралися, в основному, на результати проекту ETCS, який виконувався в рамках UIC. Щоб гарантувати затвердження специфікацій групи користувачів ERTMS інших європейських залізниць, документ, на завершальному етапі його створення, був доопрацьований групою незалежних експертів з Європейського науково-дослідного інституту залізничного транспорту (ERRI).

2.2 Цілі проекту та структура системи ERTMS/ETCS

При створенні системи ERTMS/ETCS старалися вирішити такі завдання:

– забезпечення інтероперабельності національних залізничних мереж Європи, де експлуатується значна кількість різноманітних сигнальних систем, несумісних між собою;

– збільшення пропускної здатності та вантажопідйомності за рахунок збільшення швидкості руху та зменшення інтервалу попутного слідування поїздів;

– скорочення капітальних вкладень в інфраструктуру за рахунок відмови від колійних сигналів і пристроїв контролю за вільним станом колії;

– покращення умов конкуренції на європейському транспортному ринку шляхом застосування загальноєвропейських норм.

Система ERTMS/ETCS базується на безперервній і точковій передачі даних між колійними пристроями і поїздом, модульній архітектурі бортового

комп'ютера й інтелектуальних датчиках, які дозволяють поїзду з високою точністю визначати своє місцезнаходження на лінії.

ETCS є частиною ERTMS, яка також включає компоненти: управління поїзною роботою, інформаційних систем для пасажирів, формування поїздів, енергооптимального управління ведення поїздів тощо. Метою розробки ETCS є уніфікація систем обміну інформацією між поїздом і колійними пристроями. Ця система складається з транспондера Eurobalise, петлі Euroloop, засобів радіозв'язку Euroradio та локомотивного обладнання Eurocab.

У таблиці III наведені основні TSI, які визначають функції, структуру та безпеку систем управління поїздами, які є обов'язковими в країнах ЄС. Крім того, розроблені нормативні документи і TSI, які носять інформаційно-консультативний характер.

Таблиця III – Перелік обов'язкових TSI, що визначають функції, структуру та безпеку систем управління поїздами

Посилання	Ім'я документа	Версія
ERA/ERTMS/003204	ERTMS/ETCS Functional Requirement Specification Intentionally deleted	5.0
UNISIG SUBSET-023	Glossary of Terms and Abbreviations	2.0.0
UNISIG SUBSET-026	System Requirement Specification	2.3.0
UNISIG SUBSET-027	FFFIS Juridical Recorder-Downloading Tool	2.3.0
UNISIG SUBSET-033	FIS for Man-Machine Interface	2.0.0
UNISIG SUBSET-034	FIS for the Train Interface	2.0.0
UNISIG SUBSET-035	Specific Transmission Module FFFIS	2.1.1
UNISIG SUBSET-036	FFFIS for Eurobalise	2.4.1
UNISIG SUBSET-037	Euroradio FIS	2.3.0
UNISIG SUBSET-038	Off line key management FIS	2.3.0
UNISIG SUBSET-039	FIS for the RBC/RBC Handover	2.3.0
UNISIG SUBSET-040	Dimensioning and Engineering rules	2.3.0
UNISIG SUBSET-041	Performance Requirements for Interoperability	2.1.0
ERA SUBSET-108	Interoperability-related consolidation on TSI annex A documents	1.2.0
UNISIG SUBSET-044	FFFIS for Euroloop sub-system	2.3.0
UNISIG SUBSET-046	Radio In-fill FFFS	2.0.0
UNISIG SUBSET-047	Track-side-Trainborne FIS for Radio In-Fill	2.0.0
UNISIG SUBSET-048	Trainborne FFFIS for Radio In-Fill	2.0.0
UNISIG SUBSET-049	Radio In-fill FIS with LEU/Interlocking	2.0.0
UNISIG SUBSET-054	Responsibilities and rules for the assignment of Values to ETCS variables	2.1.0

Посилання	Ім'я документа	Версія
UNISIG SUBSET-056	STM FFFIS Safe Time Layer	2.2.0
UNISIG SUBSET-057	STM FFFIS Safe Link Layer	2.2.0
UNISIG SUBSET-091	Safety Requirements for the Technical Interoperability of ETCS in Levels 1 & 2	2.5.0
UNISIG SUBSET-102	Test specification for Interface “k”	1.0.0
UNISIG SUBSET-094	Functional requirements for an on-board reference test facility	2.0.2
EIRENE FRS	GSM-R Functional Requirements Specification	8.0.0
EIRENE SRS	GSM-R System Requirements Specification	16.0.0
A11T6001	(MORANE) Radio Transmission FFFIS for EuroRadio	13.0.0
UNISIG SUBSET-074- 2	FFFIS STM Test cases document	1.0.0
UNISIG SUBSET-076- 5-2	Test cases related to features	2.3.3
UNISIG SUBSET-076- 6-3	Test sequences	2.3.3
UNISIG SUBSET-076- 7	Scope of the test specifications	1.0.2
06E068	ETCS marker board definition	2.0
UNISIG SUBSET-092- 1	ERTMS EuroRadio Conformance Requirements	2.3.0
UNISIG SUBSET-092- 2	ERTMS EuroRadio Test cases Safety Layer	2.3.0
UNISIG SUBSET 085	Test Specification for Eurobalise FFFIS	2.2.2
UNISIG SUBSET-101	Interface “K” Specification	1.0.0
UNISIG SUBSET-100	Interface “G” specification	1.0.1
Reserved	Test specification for mobile equipment GSM-R	
UNISIG SUBSET-059	Performance requirements for STM	2.1.1
UNISIG SUBSET-103	Test specification for EUROLOOP	1.0.0
UNISIG SUBSET-058	FFFIS STM Application Layer	2.1.1
Reserved UNISIG SUBSET-099	RBC-RBC Test specification for Safe Communication Interface	
UNISIG SUBSET-098	RBC-RBC Safe Communication Interface	1.0.0
EN 301 515	Global System for Mobile Communication; Requirements for GSM operation on railways	2.3.0
TS 102 281	Detailed requirements for GSM operation on railways	3.0.0
TS 103 169	ASCI Options for Interoperability	1.1.1
(MORANE) P 38 T 9001	FFFIS for GSM-R SIM Cards	5.0
ETSI TS 102 610	Railway Telecommunication; GSM; Usage of the UUIE for GSM operation on railways	1.3.0
(MORANE) F 10 T 6002	FFFS for Confirmation of High Priority Calls	5.0
(MORANE) F 12 T 6002	FIS for Confirmation of High Priority Calls	5.0
(MORANE) E 10 T 6001	FFFS for Functional Addressing	4.1
(MORANE) E 12 T 6001	FIS for Functional Addressing	5.1
(MORANE) F 10 T 6001	FFFS for Location Dependent Addressing	4
(MORANE) F 12 T 6001	FIS for Location Dependent Addressing	3
(MORANE) F 10 T 6003	FFFS for Presentation of Functional Numbers to Called and Calling Parties	4
(MORANE) F 12 T 6003	FIS for Presentation of Functional Numbers to Called and Calling Parties	4
ERA/ERTMS/033281	Interfaces between CCS track-side and other subsystems	3.0
Reserved	Safety requirements for ETCS DMI functions	

2.3 Транспондер Eurobalise

Конструктивно транспондер виконаний в плоскому жовтому корпусі і поміщений на шпалі між рейками. Він працює без джерел живлення і призначений для передачі даних з колії на поїзд. При проходженні над транспондером поїзд реєструє пасивний LC-контур, налаштований на частоту 27,1 МГц і передає енергію від антени локомотива у вигляді електромагнітного випромінювання. Транспондер використовує цю енергію для кодування інформації і відправки її на частоті 4,2 МГц на поїзд. За допомогою антени приймаються і передаються сигнали для розшифровки на локомотив. Залежно від варіантів кодування і напрямків передачі інформації розроблено чотири типи транспондерів.

Тип 1 – кодування транспондера здійснюється виробником і не може бути змінене у процесі експлуатації. Ці транспондери використовуються для визначення місця розташування поїзда. Вони виконують функцію «електронних кілометрових стовпів» і передають на локомотив дані про координату, а також відстань до наступного аналогічного пристрою. Інформація в таких пристроях передається тільки з колії на поїзд.

Тип 2 – транспондер кодує споживач при використанні спеціальних пристроїв. Це кодування можна змінювати, однак для цього необхідно доставити прилад в лабораторію. Цей транспондер використовується і як «електронний кілометровий стовп» і з іншою метою для передачі інформації з колії на рухомий склад (рис. 7).

Тип 3 – інформація, яка передається транспондером на транспортні засоби, залежить від даних, які він отримує від інших колійних пристроїв. Такий транспондер (рис. 8) має вхід і кодується в процесі роботи шляхом зміни сигналу на ньому. Такий транспондер використовується для передачі як постійної інформації, так і змінних даних, наприклад, показів світлофора. В цьому випадку між сигналом і транспондером встановлюється спеціальний пристрій LEU (Lineside Electronic Unit – Електронна колійна група об’єктів), який і здійснює необхідне кодування.

Рисунок 7 – Транспондер Тип 2

Рисунок 8 – Транспондер Тип 3

Тип 4 – крім функцій транспондера третього типу, він також може отримувати інформацію від рухомого складу і передавати її (наприклад, засобами пристрою LEU) в системи контролю та управління рухом поїздів. Такий транспондер розроблений концептуально, але до сих пір не виготовлений.

Для всіх типів транспондерів існують єдині вимоги до обсягу повідомлень і кількості їх повторень. Зона покриття транспондера становить близько 50 см, а при проходженні поїзда на великій швидкості можна передати не більше десятка коротких (341 біт при 210 біт корисної інформації) або пару довгих (1023 біти з 829 бітами корисної інформації) повідомлень. Виходячи з цих розрахунків, довгі повідомлення дозволяється передавати тільки на швидкості до 300 км/год, короткі – на більш високих швидкостях поїзда (до 500 км/год).

2.4 Петля Euroloop

Електрична петля, прокладена на колії, має довжину до 1000 м. За її допомогою безперервно передається інформація від колійних пристроїв на рухомий склад. Ця петля, призначена для ділянок, що оснащені автоматичною локомотивною сигналізацією точкового типу, без затримки передає на поїзд інформацію про зміну показань сигналу. Так, при відкритті світлофора після того, як поїзд пройшов місце установки колійного пристрою АЛСТ, який віддалений від сигналу на відстань гальмівного шляху, локомотивні пристрої отримують актуальну інформацію від петлі і скасовують прийняту раніше команду зупинки.

У якості петлі використовується одножильний кабель, який укладається на підошву однієї з рейок. Зворотній провід поміщується під ізольовану зовнішню оболонку. Хоча петля знаходиться на деякій відстані від осі колії, антена локомотива, що приймає інформацію від транспондерів, здатна реєструвати сигнали і від петлі. Інформація від колійних пристроїв до шлейфу і транспондерів передається з пристрою LEU. З цієї причини петлі транслюють сигнал на тій ж частоті, що і транспондери – 4,2 МГц. Реєстрація петлі і передача енергії від антени локомотива до неї також здійснюються на частоті транспондера 27,1 МГц.

2.5 Система радіозв'язку Euroradio

На європейській залізничній мережі впроваджується спеціалізована цифрова система радіозв'язку GSM-R (Global System for Mobile Communication Railway – Глобальна система мобільного зв’язку для залізничного транспортуьного зв'язку залізниці). Вона призначена для забезпечення переговорів між залізничниками (наприклад, для забезпечення маневрового, тунельного, поїзного та ремонтно-технологічного зв’язку), а також в комерційній експлуатації для абонентів мережі. GSM-R – стандарт для 30 європейських залізничних компаній, який поступово заміняє різні залізничні радіосистеми єдиною цифровою системою. Він також є основою для єдиної електронної системи захисту поїздів ETCS і ERTMS. Створений на основі Euroradio системи GSM-R безпечний спосіб передачі інформації дозволяє здійснювати обмін відповідальними командами між диспетчерським пунктом і рухомим складом. Виключення небезпечних відмов гарантується надлишковим кодуванням сигналу.

Існують й інші системи, доступні для подальшого вдосконалення можливостей зв'язку між землею та кабіною.

2.6 Локомотивне обладнання Eurocab

Дане обладнання становить гнучку систему, побудовану за модульним принципом обробки даних, які надходять від зовнішніх пристроїв (антени

транспондера, вимірювача пройденого шляху, датчика швидкості і локомотивної антени GSM-R). Найважливішим його компонентом є захищений локомотивний комп'ютер EVC (European Vital Computer) і зручний для користувача інтерфейс DMI (Driver Machine Interface – Інтерфейс машиніст - машина).

При проходженні над транспондером локомотив отримує інформацію про його місцезнаходження, за допомогою комп'ютера EVC кодує і передає її каналом GSM-R на центральний пост. У відповіді, отриманій з центрального поста, міститься інформація про максимально допустиму швидкість поїзда, яка розшифровується і порівнюється з поточною швидкістю. При її перевищенні комп'ютер EVC дає сигнал управління на системи тяги і гальмування локомотива.

Для зручності машиніста інформація про швидкість, її майбутнє обмеження і відстані до цього обмеження через інтерфейс локомотивного комп'ютера DMI надходить на дисплей.

Дисплей DMI є найбільш помітним елементом модуля EUROCAB. Його інтерфейс є результатом ергономічного дослідження, проведеного UIC і Європейським інститутом залізничних досліджень і підходить для будь-якого машиніста. Він складається з екрану розміром 640 x 480 пікселів, розділеного на 6 зон (рис. 9):

Зона А , розміром 54 x 300 DPI, вгорі зліва відображає інформацію, пов'язану з гальмуванням. У ній також вказується цільова відстань і час до автоматичного втручання.

Зона В 280 x 300 DPI, поруч із зоною А вказує:

– у вигляді круглого циферблата з трьома стрілками з інформацією про 3 швидкості: гранично допустима, реальна швидкість поїзда і цільова

– відомості про режим проведення поїзда (нормальний хід, маневровий хід, хід в межах видимості…)

– точкові накази (Опустити струмоприймач, Відкрити зчеп…)

Зона С 334 x 50 DPI, під зонами А і В відображає індикацію:

– Рівень ERTMS

– У цій зоні вказується, якщо задіяно екстрене гальмування

Зона D, 246 X 300 DPI, праворуч від зони B показує характеристики інфраструктури: профіль, швидкість, ключові точки, інженерні споруди, переїзди, плоскість шляху. Ця зона не використовується систематично, вибір індикації залишається за оператором, наприклад, ця зона не використовується в SNCF.

Рисунок 9 – Дисплей DMI

Зона E, 334 x 80 DPI, під зоною C призначена для текстових повідомлень, які генеруються системою (інструкції, системні помилки…)

Зона G нижче зони D, 246 x 150 DPI, відображає інформацію про стан локомотива і поїзда

Зона F дозволяє вводити дані, вона розташована в правій частині екрану (9 функціональних клавіш) і під зоною E (телефонна клавіатура для набору цифр і букв).

2.7. Перша ступінь оснащення ETCS (Рівень 1)

Система ERTMS/ETCS має три рівні, які дозволяють реалізовувати різні операційні програми залежно від ступеня оснащеності лінії колійним обладнанням.

Система рівня 1 регулює швидкість руху поїзда в залежності від даних сформованих на основі показань колійних сигналів, які надходять на поїзд з колії.

Перший ступінь ETCS актуальний для ділянок, які не оснащені сучасними пристроями автоматичної локомотивної сигналізації. У ньому до традиційних засобів контролю за місцезнаходженням поїзда (рейкових кіл або лічильників осей) додаються два сигнально-керованих транспондери Eurobalise третього типу: один – безпосередньо біля світлофора, а другий – на відстані гальмівного шляху до нього. Вони управляються пристроєм LEU, встановленим біля світлофора. Для підвищення безпеки системи, а також зниження енерговитрат на ведення поїзда транспондери доповнюються кабелем Euroloop, підключеним до LEU (рис. 10).

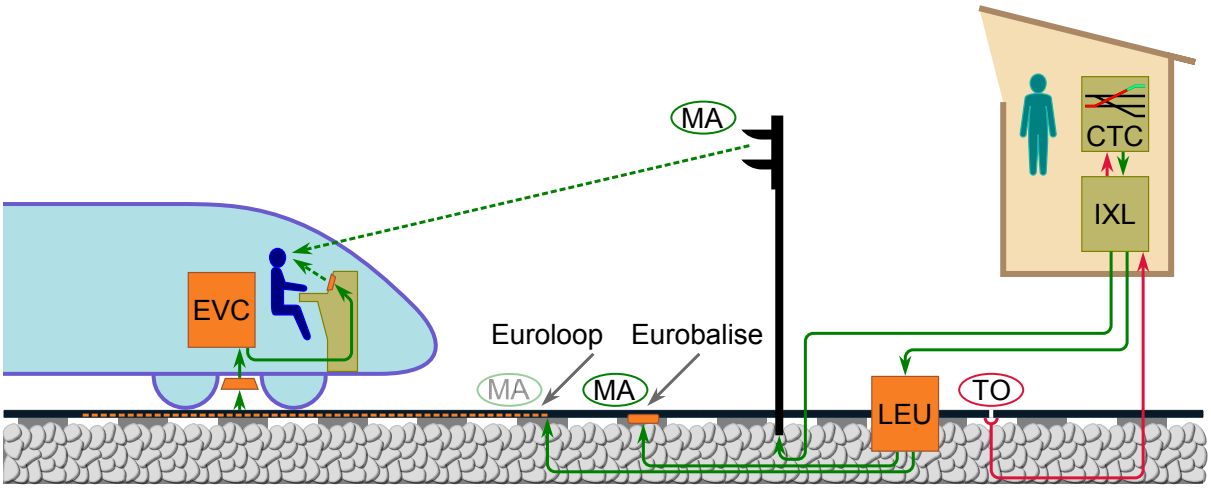

Рисунок 10 – Перша ступінь оснащення ETCS (Рівень 1)

Облаштовувати таким обладнанням необов’язково ділянки, на яких наявні аналогічні чи досконаліші системи безпеки. У Німеччині перша ступінь ETCS використовується на ділянках приміського руху Берлінського вузла, оснащених застарілою системою механічної АЛС точкового типу.

Системи першого рівня вже працюють на лініях в Болгарії, Австрії, Румунії, Іспанії, Італії, Греції, Словенії та Угорщині, а також впроваджуються на магістральних лініях в Туреччині, Люксембурзі. Інші залізниці планують перейти на ETCS по мірі вичерпування терміну служби існуючих систем АЛС.

У процесі впровадження цього обладнання в експлуатацію серйозних проблем не виникало, оскільки передача сигналів на поїзд від транспондерів і петель давно практикується на залізницях багатьох країн світу.

2.8 Друга ступінь оснащення ETCS (Рівень 2)

Система рівня 2 – це повноцінна система контролю і забезпечення безпеки руху поїздів без використання колійних сигналів, але зі збереженням жорсткого поділу лінії на блок-ділянки. Колійні пристрої визначають місце розташування поїздів і стежать за цілісністю їх складу.

На цій ступені інформація про поїзну ситуацію передається на локомотив безперервно засобами радіосистеми GSM-R. Транспондери третього типу, петлі точкової АЛС і блоки LEU можуть бути демонтовані. Поїзди фіксують своє місцезнаходження за допомогою транспондерів першого типу, які встановлені на колії через певну відстань (рис. 11). У проміжках між ними поїзд визначає своє положення за показами датчика шляху. Інформація про місцезнаходження поїзда після прослідування транспондера передається засобами радіо на центральний пост. На другій ступені ETCS зберігаються традиційні пристрої контролю за місцезнаходженням поїзда (рейкові кола і системи відліку осей), а передача на пост ординати локомотива використовується поки тільки в якості додаткового джерела інформації. При цьому команди АЛСН, отримані по радіоканалу, надають для поїзда основну інформацію про дозволену швидкість. Прохідні світлофори, які залишаються на даному етапі, передбачені в якості резерву. Рух поїздів на цьому етапі, як і раніше, здійснюється за допомогою фіксованих блок-ділянок.

Оснащення ділянок цією системою здійснюється в Німеччині, Бельгії, Чехії, Франції, Італії, Нідерландах, Швеції та Іспанії.

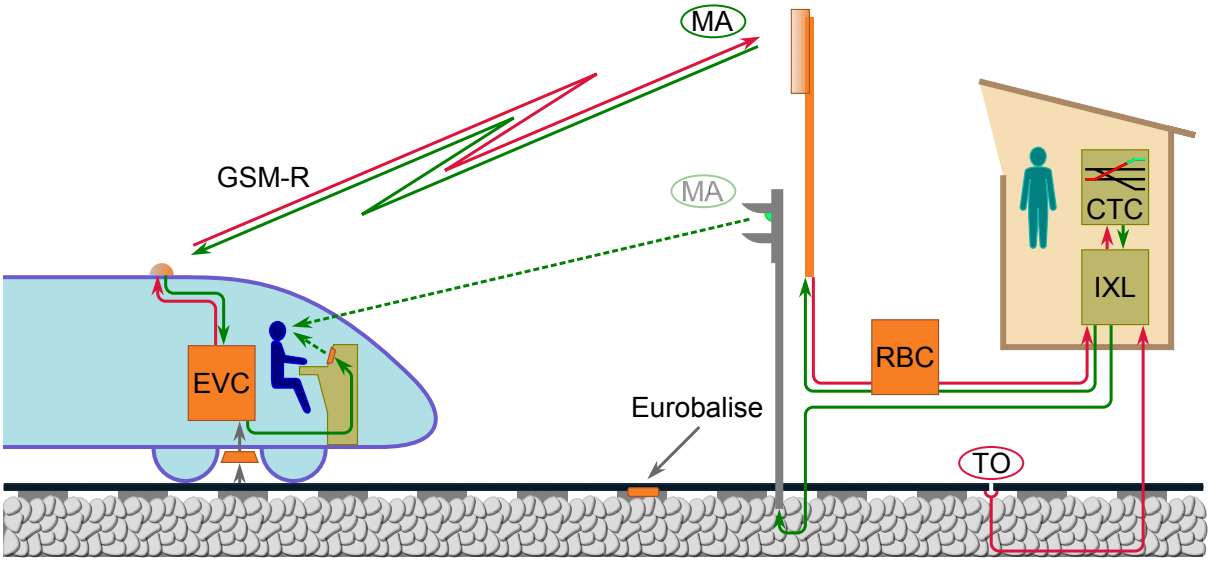

Рисунок 11 – Друга ступінь оснащення ETCS (Рівень 2)

При реалізації цього етапу ETCS складно використовувати радіоканал АЛСН в дуже пересіченій місцевості. Так, на гірській ділянці Федеральних залізниць Швейцарії Олтен – Люцерн, Бомбардьє за 18 місяців дослідної експлуатації не зміг забезпечити задовільну роботу системи.

2.9 Третя ступінь оснащення ETCS (Рівень 3)

Система рівня 3 – це повноцінна система контролю і забезпечення безпеки руху поїздів без використання колійних сигналів і з рухомими блок-ділянками. Визначення місця розташування поїзда і контроль за його повним складом здійснюються бортовими засобами.

Інтервальне регулювання рухом поїздів на третій ступені здійснюється виключно засобами радіоканалу. Традиційні пристрої контролю положення рухомого складу вже не використовуються, локомотив встановлює своє положення за допомогою датчика шляху, скоригованого транспондерами. Для контролю цілісності і довжини поїзда передбачений внутрішньопоїзний радіоканал. Попутне слідування поїздів на цій ступені ETCS буде здійснюватися з інтервалами, які відповідають довжині гальмівного шляху, що значно збільшить пропускну здатність ділянки. Колійні сигнали не будуть використовуватися через

відсутність фіксованих блок-ділянок (рис. 12). Рівень 3 на даний час знаходиться в стадії розробки.

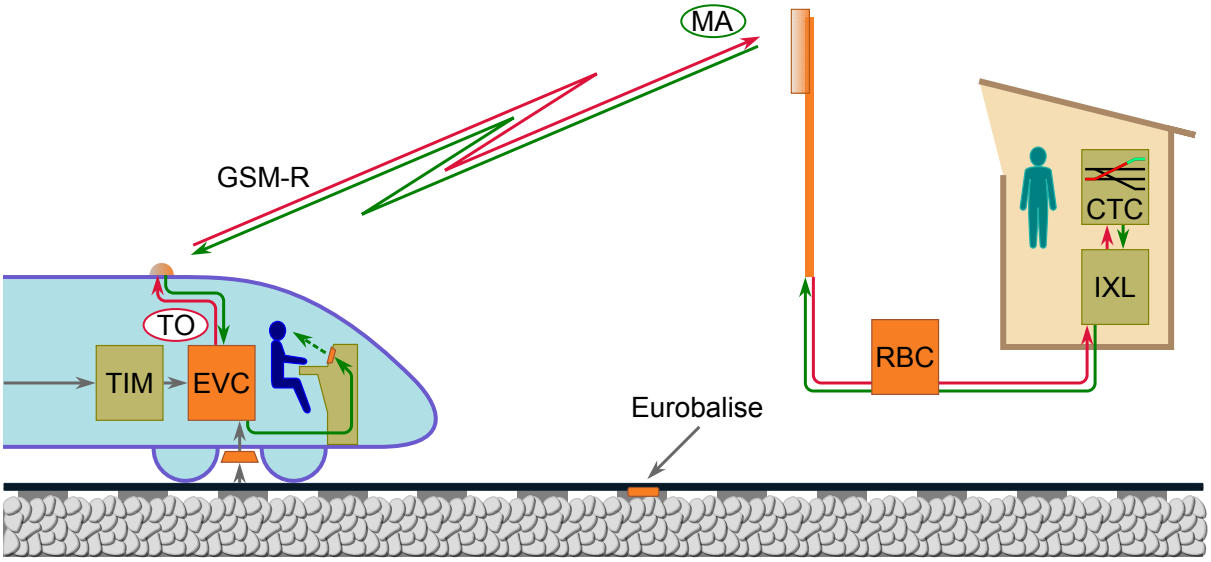

Рисунок 12 – Третя ступінь оснащення ETCS (Рівень 3)

Ці три рівні сумісні між собою як функціонально, так і технічно, тобто поїзд, оснащений системою верхнього рівня, може рухатися лінією, яка оснащена системою нижчого рівня. Систему рівня 1 або 2 можна оновити до рівня 3, додавши модулі розширення.

Для забезпечення сумісності нової системи управління поїздами з існуючими передбачено проміжне включення спеціальних модулів передачі STM (Specific Transmission Module).

2.10 Режими ведення поїздів

У міру поширення системи по всій Європі необхідно було визначити єдину термінологію з урахуванням специфіки кожної країни.

Наприклад:

– Визначення маневрового ходу варіюється від країни до країни.

– Режим руху поїзда під відповідальність машиніста застосовується тільки на деяких мережах, і необхідно було відтворити цей режим руху.

Режими ходу в ERTMS такі:

– Номінальний режим (Full Supervision або FS), який відповідає нормальному ходу.

– Маневровий режим (Shunting або SH), який відповідає маневровому ходу.

– Режим в межах видимості (On Sight або OS), що відповідає ходу в межах видимості.

До цих найбільш поширених режимів можна додати спеціальні режими:

– Режим під відповідальність персоналу (Staff Responsible або SR);

– Режим очікування (Stand By або SB);

– Режим екстреного гальмування (Reversing або RV);

– Режим екстреної зупинки (Train Trip), який відповідає повному переходу в систему;

– Неактивний режим (Unfitted), який вказує на те, що ERTMS не працює;

– Допоміжний режим (non Leading), який свідчить про те, що поїзд ведеться з іншої кабіни.

Ці вказівники режимів у виді символів відображаються на інтерфейсі і можуть бути різних кольорів (червоного, жовтого, зеленого) в залежності від періоду їх застосування – негайного або запланованого.

Отже, з того, як здійснюється перехід європейських залізниць на систему ERTMS / ETCS, робимо висновок, що передумовами для створення цього масштабного проекту зі створення єдиної європейської системи управління поїздами та безпеки руху були:

• прагнення до створення єдиної системи управління на локомотивах, яка не залежить від характеристик раніше використовуваних національних систем автоматизації;

• прагнення знизити витрати на дорогу колійну конструкцію систем автоматики.

При цьому передумови для створення системи ERTMS/ETCS є водночас її перевагами. Що стосується нинішнього стану, то в більшості країн ЄС реалізується як мінімум один проект по впровадженню цієї системи, правда,

тільки рівні 1 та 2, оскільки рівень 3 знаходиться в стадії розробки. Також слід зазначити, що в європейській системі управління рухом поїздів, як правило, замість рейкових кіл використовуються датчики відліку осей. Цю особливість слід враховувати у випадках запровадження європейської системи на території України. Велике навантаження на вісь, інтенсивний рух великогабаритних вантажних поїздів нашими залізницями змушує контролювати поломку рейки в більшій мірі, ніж в країнах Західної Європи. Таке управління може бути досягнуто тільки за допомогою рейкового кола, а не за допомогою датчика відліку осей. Тому цей момент можна віднести до недоліку, звичайно ж, з поправкою на те, де ця система буде використовуватися, і в яких умовах.

МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ EBILOCK-950

3.1 Експлуатаційні та технічні характеристики системи

Як зазначалося раніше, вітчизняні залізниці взяли курс на інтеграцію в загальну європейську мережу. Одним з кроків досягнення цієї мети є запровадження мікропроцесорних систем автоматизації. Перехід від релейної до мікропроцесорної централізації – не данина моді. Це об'єктивна потреба оновлення всього технологічного процесу управління перевезеннями і роботи структурних підрозділів залізничного транспорту на основі використання інформаційних технологій. Тут відразу проявляються переваги МПЦ, яка служить зручною сполучною ланкою між джерелами отримання первинної інформації (рухомий склад, засоби СЦБ тощо) і системами управління перевізним процесом більш високого рівня, дозволяючи обійтися без додаткових надбудов, які були б потрібні при використанні електричної централізації на основі реле. Вибір системи МПЦ для майбутньої реалізації на залізничних станціях України досить складний. У цьому випадку необхідно уважно вивчити всі технічні особливості існуючих систем. У першу чергу необхідно звернути особливу увагу на системи, які експлуатуються на мережі залізниць, які мають схожу фундаментальну базу, тобто на території сусідніх держав, зокрема Прибалтійських. Однією з нових та перспективних систем є МПЦ Ebilock950.

Система Ebilock950 адаптована, тобто її основні експлуатаційні та технічні характеристики відповідають вимогам, які пред'являються в даний час до систем електричної централізації (ЕЦ). Разом із тим програмована елементна база дозволила поліпшити експлуатаційні властивості системи, реалізувавши з її допомогою наступні додаткові функції:

• «Блокування стрілки в заданому положенні», яка виконується за командою оператора і забезпечує індивідуальне блокування стрілки, зазначеної в його команді. Після цього немає можливості індивідуально переводити стрілку або використовувати її на маршруті в положенні, відмінному від заблокованого.

Допускається використовувати стрілку в маршруті, якщо його траса збігається з положенням стрілки;

• «Блокування секції», яка виконується за командою оператора і забезпечує індивідуальне блокування секції, зазначеної в команді, з виключенням можливості відкриття сигналу на маршруті через цю секцію;

• «Встановлення поїзного маршруту з автоматичною дією сигналів»;

• контролю за світінням заборонних показів маневрових світлофорів прикриття при задаванні поїзних маршрутів. Відкриття світлофора в поїзному маршруті на дозвільний показ відбувається тільки тоді, коли забороняюча індикація запалюється на маневровому світлофорі прикриття, якщо маршрут встановлений до цього світлофора. Після відкриття поїзного світлофора виключається контроль горіння заборонної індикації на маневровому світлофорі прикриття.

Програмно-технічними засобами АРМ ДСП реалізується ряд інформаційно-сервісних функцій, пов'язаних з візуалізацією і протоколюванням дій ДСП і стану колійного обладнання, а також справною роботою технічних засобів системи МПЦ. Графічний інтерфейс користувача забезпечує інтегроване середовище для всіх операцій ДСП і єдиний підхід до побудови системи меню, діалогових вікон введення і виведення повідомлень.

В системі, крім основного, передбачений допоміжний режим управління, у який система перемикається в разі часткової непрацездатності пристроїв МПЦ, збоїв засобів управління чи кабельної мережі станції.

У допоміжному режимі управління дотримуються особливі умови взаємодії оператора і системи МПЦ, спрямовані на перевірку осмисленості дій оператора. До таких умов відносяться:

• чітка і ясна індикація дій, яка сприймається однозначно;

• повторні запити системи до оператора з поясненням виконуваних ним дій, що вимагають підтвердження;

• обов'язкова вимога від системи до оператора вказувати причину роботи в допоміжному режимі, яка повинна бути зафіксована і зареєстрована нею. У цьому режимі забезпечується наступне:

– «Індивідуальне переведення стрілок без контролю стану стрілочної рейкової схеми (при хибній зайнятості)»;

– «Встановлення маршрутів без відкриття дозвільного показання світлофорів».

МПЦ Ebilock-950 може бути реалізована в двох варіантах: з централізованим і децентралізованим розміщенням обладнання. У першому варіанті на посту централізації розташовані процесорний модуль централізації (ПМЦ), блок обробки взаємоблокування – nterlocking Processing Unit (IPU), що реалізує логічні взаємозалежності між об'єктами станції, а також апаратура управління колійними пристроями (система об'єктних контролерів - СОК). У другому варіанті ПМЦ розташовується на посту централізації, а СОК розподіляється станцію в безпосередній близькості від об’єктів управління.

Один комплект ПМЦ може управляти 150 логічними об’єктами (образами фізичних об’єктів станції в комп’ютерній програмі), 1000 об’єктами IPU (стрілки, світлофори, обмотки і контакти реле), що приблизно відповідає станції, яка має близько 40-60 стрілок. Кількість об’єктів можна збільшити за рахунок збільшення кількості ПМЦ. Ємність системи за кількістю петель зв’язку, концентраторів і об'єктних контролерів характеризується максимальною кількістю:

• петель зв’язку на один ПМЦ – 12;

• концентраторів у кожній петлі зв’язку – 15;

• об’єктних контролерів у кожній петлі зв'язку – 32.

Ebilock-950 передбачає 100% резервування постових пристроїв, використання власних джерел живлення, розрахованих на автономну роботу не менше 0,5 години, спеціальну побудову ліній зв’язку і каналоутворюючого обладнання, що дозволяє підтримувати працездатність системи в разі відмов.

3.2 Структура системи

Структура мікропроцесорної централізації наведена на рис. 13.

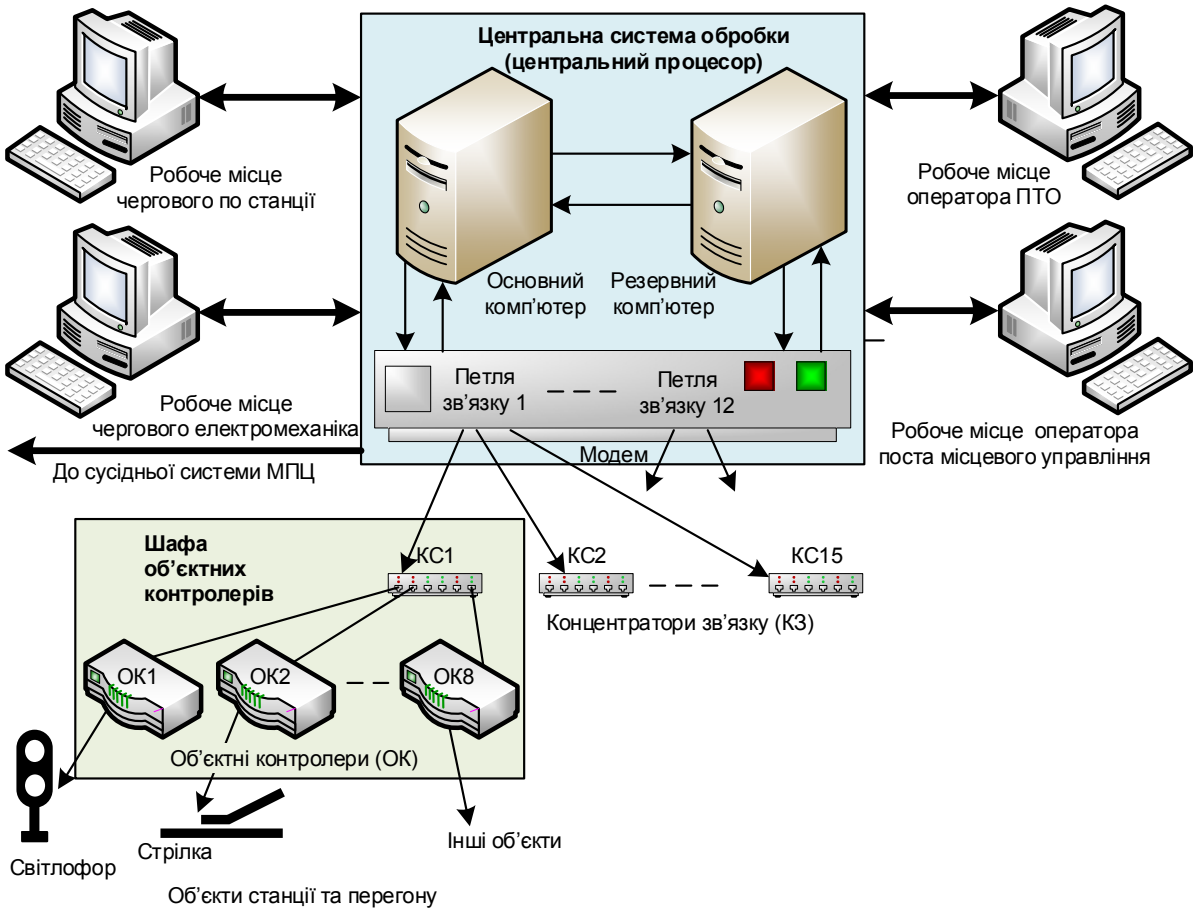

Рисунок 13 – Структурна схема МПЦ Ebi1ock-950

З точки зору функціонального призначення в Ebi1ock-950 можна виділити чотири основні підсистеми:

- діалогову;
- діагностики;
- логічних залежностей;
- управління та контролю за станом об'єктів.

Підсистема діалогу включає в себе автоматизоване робоче місце чергового по станції (АРМ ДСП), основними функціями якого є: відображення колійного розвитку станції із індикацією поточного стану об'єктів контролю і управління; обробка команд ДСП; ведення журналу подій; обробка сигналів про несправності; відображення журналу подій і списку несправностей.

Використання стандартного персонального комп'ютера в якості апаратної реалізації АРМ дозволяє знизити витрати, спростити експлуатацію та обслуговування системи МПЦ. В АРМ використовується поширений віконний користувальницький інтерфейс, інтуїтивно зрозумілий і простий в освоєнні.

Підсистема діагностики в Ebi1ock-950 представлена у вигляді терміналу електромеханіка (АРМ ШН), який отримує інформацію про різні несправності в системі, наприклад, обрив петлі зв'язку чи перегорання лампи в світлофорі. Користувацькі інтерфейси і загальні принципи побудови АРМ ДСП і АРМ ШН багато в чому схожі. У АРМ ШН зменшено набір допустимих команд і відсутнє вікно, яке відображає мнемосхему станції.

Реалізація логічних взаємозалежностей між об'єктами станції відповідно до вимог безпеки поїздів здійснюється на рівні підсистеми логічних залежностей. Технічною основою даного підрівня системи МПЦ є ПМЦ, структура апаратного і програмного забезпечення якого забезпечує задані параметри безвідмовності та безпеки. ПМЦ складається з двох комп'ютерів, один з яких знаходиться в експлуатації, а інший знаходиться в «гарячому» резерві. До складу кожного комп'ютера входить два апаратні канали обробки інформації. Функції, до яких пред'являються вимоги безпеки, реалізуються у двох незалежних каналах, а функції, пов'язані з підтримкою інтерфейсу зовнішніх пристроїв і системи об'єктних контролерів, забезпечуються сервісним процесором.

Комп'ютер «гарячого» резерву постійно оновлює дані, тому система завжди готова перейти на нього в разі відмов чи збоїв у роботі основного.

Для безпосереднього контролю і управління об'єктами станції (стрілками, світлофорами, рейковими колами тощо) слугує система об'єктних контролерів.

Кожен об'єктний контролер може управляти і контролювати один або кілька колійних об'єктів, залежно від їх типу, за допомогою мікропроцесора зі спеціальною програмою.

3.3 Процесорний модуль централізації

3.3.1 Апаратні засоби

Процесорний модуль централізації складається з модулів, встановлених в 19-дюймовий корпус, що містить пасивну об'єднувальну плату для реалізації зв'язків між модулями і ефективного розподілу живлення. ПМЦ займає як ліву, так і праву половини корпусу. Модулі встановлюються попарно, що відповідає основному і резервному комплектам.

Процесорний блок складається з наступних модулів: – живлення (PSM); – дисковий і мережевий (DEM); – центрального процесора (CPM); – вводу-виводу даних (IOM).

Модуль живлення забезпечує напруги для функціонування ПМЦ: +5 В/10 А; +12 В/30 А; -12 В/0,5 А, а також забезпечує захист від короткого замикання, індикацію зникнення вихідної напруги, збереження на 30 мс вихідної напруги при зникненні вхідної напруги.

Дисковий і мережевий модуль складається з двох окремих підсистем: мережевого інтерфейсу і жорсткого диска. Підсистема мережевого інтерфейсу призначена для підключення ПМЦ до різних зовнішніх пристроїв, наприклад, до АНМ ШН, а на етапі розробки – до загальної мережі підприємства. Роз'єм також можна використовувати для підключення до системи АРМ ДСП.

Підсистема жорсткого диска містить SCSI-контролер, внутрішній жорсткий диск і зовнішній SCSI-роз'єм, до якого можна підключити до п'яти різних SCSI-сумісних пристроїв, таких як жорсткі диски, CD-пристрої й інші накопичувачі.

Модуль центрального процесора складається з трьох однакових процесорів Motorola 68030 з тактовою частотою 32 МГц з міжмодульною шиною і двома двоканальними інтерфейсами.

Три процесори на платі CPM називаються, відповідно, безпечним процесором A (FSPA), безпечним процесором B (FSPB) і сервісним процесором (SPU). Перші два виконують задачі і правила централізації, а останній відповідає за операції вводу-виводу і контролю.

Модуль вводу-виводу забезпечує зв'язок з об'єктними контролерами. Для цього кожна плата включає в себе COS порт (RS232); два можливі типи портів для зв'язку з концентраторами (обидва типи можуть встановлюватися на єдиний модуль IOM в будь-якій комбінації і конфігуруються в проектних даних); внутрішнє з'єднання для зчитування (записування) даних до (з) модуля CPM.

Кожен модуль може мати максимум чотири порти, а кожна половина IPU950 – по три модулі IOM, в залежності від кількості колійного обладнання. Плати IOM працюють парами, тому система повинна мати необхідну кількість плат, тобто кількість карт IOM в лівій половині IPU950 має відповідати кількості IOM, встановлених в правій половині.

3.3.2 Структура обладнання

Структура апаратних засобів процесорного модуля складається з наступних елементів: Процесорний модуль централізації Interlocking Processing Unit (IPU) містить два синхронно працюючих процесора централізації: один працює в режимі (on - line), а інший – в резервному (stand - by). Резервний процесор не впливає на функціонування робочого процесора, але безперервно отримує інформацію від системного ПО про стан робочого процесора. У разі збоїв у роботі робочого процесора, резервний бере на себе всю обробку інформації.

Сервісний процесорний пристрій – service Processing Unit (SPU) – виконує всі асинхронні функції, такі як операції введення/виведення даних та команд. Пристрій працює під управлінням UNIX-сумісної операційної системи реального часу DNIX.

Усередині кожного процесорного модуля є два відокремлених один від одного безпечних процесорних модуля Fail - Safe Processing Unit FSPU (FSPA, FSPB), які паралельно виконують власні програми (A і B відповідно) щодо перевірки всіх залежностей централізації. Кожен блок має свій мікропроцесор, пам'ять і високошвидкісний двонаправлений канал, що дозволяє відправляти оброблені дані в резервний комплект системи. Різні варіанти алгоритму роботи забезпечують коректне виконання залежностей в системі централізації.

У разі виникнення несправностей в роботі основного модуля ПМЦ перемикається на резервний процесорний блок.

Кожен IPU використовує власну комунікаційну підсистему (COU), підключену до загального інтерфейсного адаптера Common Interface Adapter (CIA) і використовувану для зв’язку з концентраторами і АРМ ДСП.

Найкраще розглядати роботу комп'ютера централізації по взаємодії трьох основних компонентів блоку IPU: SPU, FSPA. FSPB. Обробка логіки централізації в FSPU носить циклічний характер. На кожен цикл виділяється приблизно 0,3 с, в ході якого здійснюється наступне: - збирається інформація, що відображає стан всіх об’єктів станції; - обробка інформації; - формування наказів для об’єктних контролерів; - передача інформації про стан об’єктів централізації на дисплей АРМ ДСП для індикації.

Для забезпечення достовірності в обчислювальних каналах ПМЦ використовуються диверситетні версії програмного забезпечення в каналах А і В, причому в кожному циклі робиться наступне: - перехресні порівняння вхідних, проміжних і вихідних даних; - контроль використовуваної версії ПЗ і його цілісності; - контроль динаміки і актуальності оброблюваної інформації; - контроль часових параметрів програми і послідовності виконання програмних модулів; - контроль пам'яті програм і оперативної пам'яті.

3.4 Методи забезпечення безпеки

Передача даних між системою централізації і контролером пристроїв СЦБ. Однією з обов’язкових умов безпечного функціонування системи є те, що будь-які спотворення в потоці даних між ПМЦ і контролерами повинні бути діагностовані, а їх вплив необхідно негайно усунути.

Така здатність системи забезпечується шляхом використання шумостійкого кодування вмісту телеграми, що захищає інформаційне повідомлення або команду від спотворень в каналі зв’язку.

Організація передачі даних по кільцю заснована на дуже обмеженому наборі команд протоколу HDLC відповідно до ISO 4335. Команда (так само як і

інформаційне повідомлення) передається у вигляді двох копій А і В. Обидві копії включають в себе, крім змістової частини, таку кількість додаткових бітів, що забезпечують завадостійкість (код Хеммінга), при якому відстань Хаммінга дорівнює 4. Це означає, що помилкове повідомлення можна прийняти за істинне, якщо в його 127 інформаційних бітах при передачі каналами зв'язку є не більше 4 помилкових біт, а порядок їх послідовності не дозволить виявити помилки шляхом перевірки на надмірність (CRC - 8).

Більше того, команди та інформаційні повідомлення дублюються, і в кожній копії використовується свій порядок кодування. Копії А і Б упаковані кожна в свою упаковку, включаючи: унікальну адресу, вид повідомлення і мітку довжини; мітку часу для запобігання використання застарілої інформації в системі; змістовну інформацію; кодування бітів.

Контролер перевіряє ідентичність і синхронність копій А та В команди, переданої в ПМЦ. Ця перевірка виконується незалежно двома різними програмами А та В. Якщо будь-яка з програм виявить різницю в змісті отриманих копій, обробка і виконання цієї телеграми припиняється.

Безпека процесу управління. Для дотримання вимог безпеки реалізація процесу управління заснована на принципі диверситетного (варіабельного) програмування, згідно з яким одна і та ж функція системи програмується двома різними командами програмістів. Методи реалізації програми в обох випадках абсолютно різні. Кінцевий продукт має розробки обох груп програмістів, що визначаються як програми А і В, які за своїми специфікаціями беруть участь в процесах управління і контролю.

Визначення стану контактів реле. Переведення колійних пристроїв з одного стану в інший здійснюється шляхом перемикання механічних контактів за допомогою реле, які використовуються в обладнанні рейкових кіл або схем з'єднання з пристроями автоблокування. Щоб виключити будь-які помилки при перемиканні контактів, постійно контролюється їх положення. Положення контактної групи визначається шляхом відправки на неї знако-змінної випадкової послідовності прямокутних імпульсів. Така послідовність вибирається для

виключення злиття зовнішніх впливів, які могли б призвести до небезпечних кореляцій. Залежно від положення контактної групи послідовність імпульсів або інвертована, або ні, і на основі порівняння послідовності імпульсів до і після контактної групи робиться висновок про її положення. Порівняння виконується програмою контролера пристроїв СЦБ, що також дозволяє враховувати перехідний час процесу при замиканні чи розмиканні контакту. Для цього підбираються параметри часу вимірювання таким чином, щоб перехідний час в залежності від покладених функцій і типу контактного пристрою перекривався тривалістю часової затримки між вимірюваннями.

Принципи ідентифікації. Згідно вимог безпеки до кожного контролера, повинні бути ідентифіковані: система зв'язку з контролером – телеграми, які він здатний приймати і передавати; функція контролера – тип сигналу, тип стрілки, якою він керує. Ідентифікаційна мітка кожного контролера вбудована в роз'єм, який вставляється в роз'єм конструкції колійної шафи.

За час роботи МПЦ Ebi1ock-950 не було зареєстровано жодного системного збою. Мали місце збої окремих друкованих плат стрілочних і сигнальних об'єктних контролерів внаслідок пошкодження кабелю або інших причин, а також перезапуску об'єктних контролерів через занадто високу чутливість до змін параметрів колійних пристроїв СЦБ. На невеликих станціях бували випадки збоїв в системі передачі інформації. Всі ці недоліки враховуються в новій версії прикладного програмного забезпечення для центрального процесора.

Система Ebilock-950 придатна для використання на залізницях України так само, як вона експлуатується і в країнах Балтії, оскільки всі засоби СЦБ, що експлуатуються на них, відповідають затвердженим (ще Міністерством шляхів сполучення СРСР) технічним вимогам або відрізняються від них лише незначно.

Отже, МПЦ – це системи нового покоління, які на порядок кращі за попередні і мають здатність виконувати більшу кількість функцій і більшу економічну ефективність (відсутнє релейне обладнання), а мінімізація обладнання призводить до скорочення коштів на будівництво постів ЕЦ.

УВ'ЯЗКА ERTMC/ETCS ТА МПЦ EBILOCK-950

4.1 Досвід впровадження на зарубіжних залізницях

В країнах ЄС, як зазначалося вище, використовуються системи ERTMS/ETCS. Як правило, система ETCS відповідає за інтервальне регулювання рухом поїздів на ділянці, а ERTMS – це надсистема, аналог вітчизняної диспетчерської централізації. Що стосується станцій, то тут також існує велика різноманітність систем, але вони, як правило, мікропроцесорні.

Що стосується МПЦ Ebilock-950, то ця система вже в деякій мірі інтероперабельна, яка вже доказала свою сумісність при введенні нової залізничної лінії між Швецією і Данією. Для управління рухом поїздів на цій ділянці була обрана єдина мікропроцесорна система централізації, розроблена на базі системи Ebilock-850 компанії Adtranz Signal. З огляду на існуючі відмінності, система була відповідним чином адаптована і, з боку Данії, використовується у версії DSB 1990, а зі сторони Швеції – STLV 85, причому повної уніфікації не досягнуто через те, що вона вимагає занадто істотних змін. Так, в Данії на дисплеях операторів є індикація захисту системи управління від збоїв, в Швеції – немає. У точці стикування дві системи об'єднані за допомогою релейного інтерфейсу, також розробленого компанією Adtranz Signal.

МПЦ Ebilock-950, що представляє собою шведський продукт, відмінно використовується на російських залізницях, інфраструктура яких така ж, як і на залізницях України. МПЦ Ebilock-950 працює на 16 малих, середніх і великих станціях ділянок з автономною тягою і електрифікованих постійним і змінним струмом дев'яти російських залізниць. Уведена в експлуатацію МПЦ на станції Рига (120 стрілок) латвійських залізниць. Як бачимо, система Ebilock-950 придатна для використання на залізницях України і Балтії, так як всі засоби СЦБ, які на них експлуатуються, відповідають затвердженим (ще Міністерством шляхів сполучення СРСР) технічним вимогам або незначно відрізняються від них.

Як правило, з досвіду вже існуючих систем взаємозв'язку, взаємодія ETCS з МПЦ здійснюється через RBC (центр радіоблокування). Ця особливість простежується на залізничній лінії Ютербог – Галле / Лейпциг, яка розташована на

південь від Берліна і є частиною сполучення Берлін – Мюнхен (рис. 14). Електрифікована двоколійна лінія довжиною 154 км призначена для руху поїздів зі швидкістю 200 км/год. Після введення в експлуатацію системи ETCS на лінії збережені прохідні світлофори (з комбінованими сигналами) і лічильники осей, оскільки на першому етапі ETCS рівня 2 працює спільно з традиційною системою сигналізації (рис. 15).

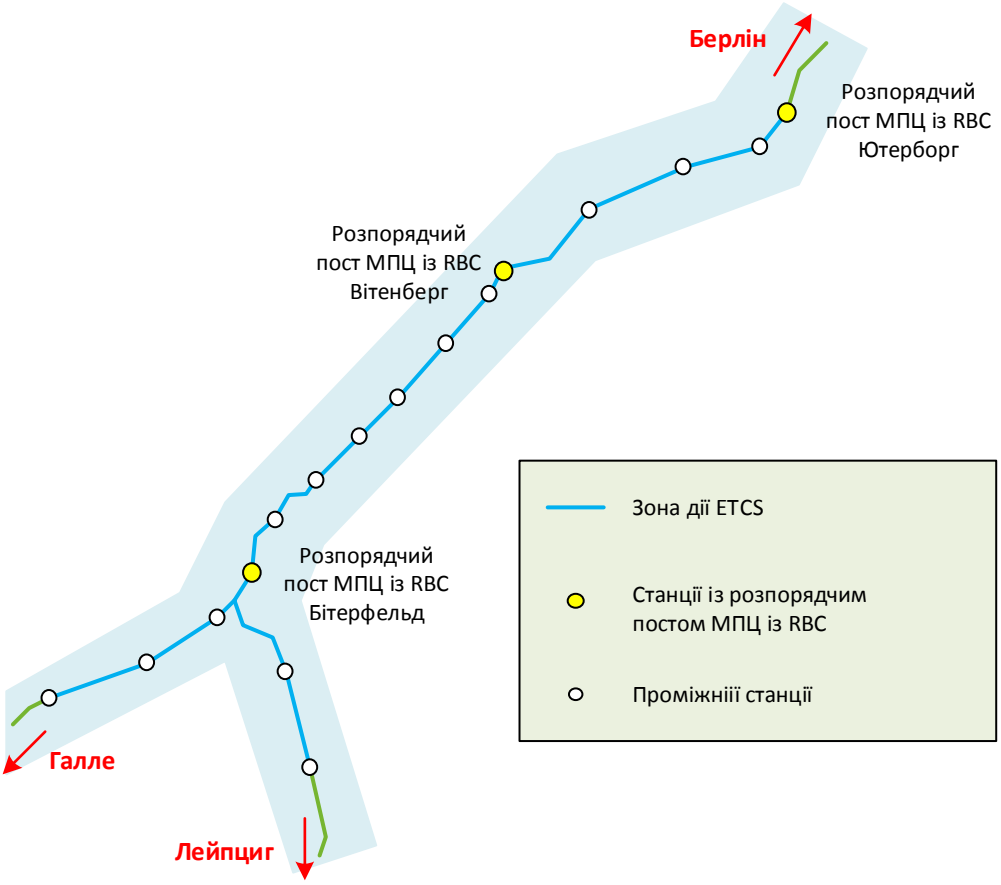

Рисунок 14 – Лінія Ютербог – Галле/Лейпциг

В основі ETCS лежать два радіоцентри автоблокування (RBC) в Біттерфельді та Віттенберзі. Обидва RBC підключені локальною мережею до обладнання мікропроцесорної централізації (МПЦ) типу ESTW L90 фірми Alcatel. МПЦ передає на відповідний RBC інформацію про стан ‘стрілок і сигналів для формування команди на рух. При цьому передачі даних про вільний чи зайнятий стан колії не потрібно. Двосторонній обмін даними між центром RBC і поїздом

здійснюється засобами радіомережі GSM-R. Для цього обидва центри RBC під'єднані до комутаційного центру в Лейпцигу.

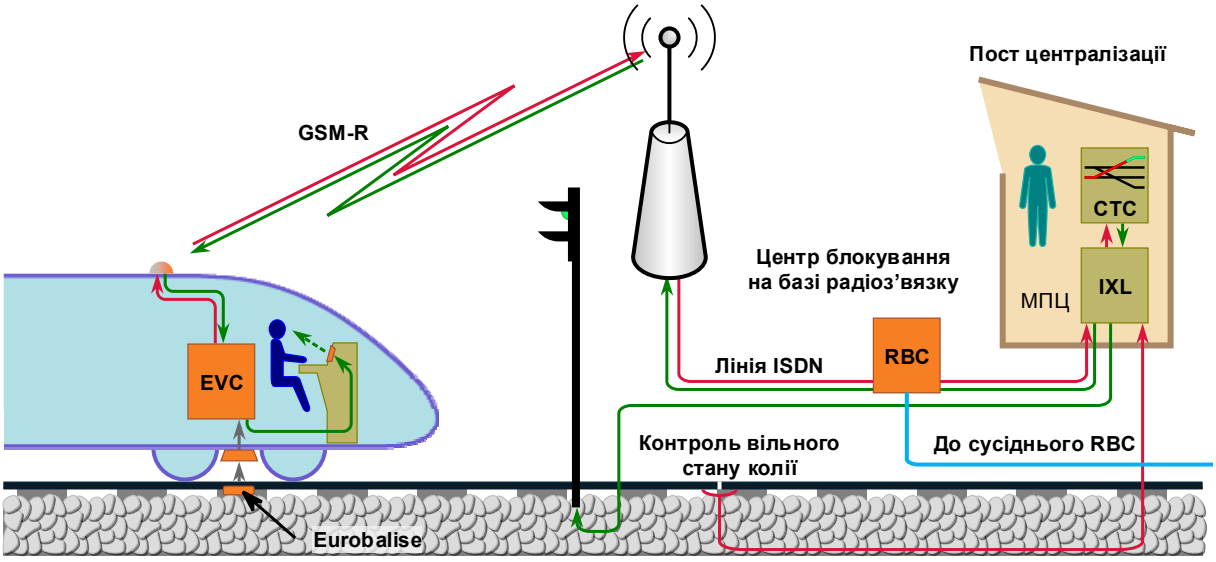

Рисунок 15 – Структура зв'язку системи ETCS рівня 2 з МПЦ

4.2 Спільне використання Ebilock-950 та ERTMS/ETCS на залізницях України

У разі європейського вибору перехід на ERTMS/ETCS становитиме певні труднощі. Впровадження системи можливо з двох основних причин тільки поетапно:

Перша причина пов'язана з неможливістю заміни відразу всього тягового рухомого складу, який працює на одній лінії.

Друга причина пов'язана з неможливістю замінити все обладнання по всій довжині лінії.

Як зазначалося раніше, системи ETCS рівня 1 і рівня 2 використовують або рейкові кола, або лічильники осей. З впровадженням європейської системи на залізницях України, відповідно, існуючі залізничні кола залишаються без будь-яких змін. Перший рівень ETCS актуальний для ділянок, які не обладнані сучасними пристроями автоматичної локомотивної сигналізації. Не варто облаштовувати подібним або більш досконалим обладнанням ділянки, які обладнані аналогічними чи досконалішими системами безпеки. Крім того, на

першому рівні ETCS використовується АЛС точкового типу. На українських залізницях використовується АЛС безперервного типу, тому переобладнувати лінії на АЛСТ недоцільно. У цьому випадку 2 рівень ETCS є перспективнішим для впровадження.

На другому рівні ETCS інформація про ситуацію з поїздом передається локомотиву безперервно засобами радіосистеми GSM-R. Колійні пристрої визначають місце розташування поїздів і стежать за їх повним складом. Транспондери третього типу та петлі точкової АЛС можуть бути демонтовані. На цій ступені ETCS зберігаються традиційні пристрої контролю за місцезнаходженням поїзда (рейкові кола і системи відліку осей). У разі реалізації функцію АЛСН виконуватиме радіосистема GSM-R. Оскільки рейкові кола залишаються, отже, їх потрібно буде ув'язати з МПЦ Ebilock-950. Більшою мірою така ув'язка стосуватиметься кодових рейкових кіл. Враховуючи той факт, що на другому рівні ETCS можна обійтися без прохідних світлофорів, є можливість впровадження тональних рейкових кіл, перспективних для залізниць України.-

Як вже зазначалося раніше, МПЦ Ebilock-950 активно експлуатується на залізницях Росії та країн Прибалтики. Природно, були розроблені технічні рішення для ув'язки з різними типами пристроїв зокрема: з одноколійним та двоколійним кодовим АБ; з одноколійним та двоколійним електронним кодовим автоблокуванням (КЕБ); з одноколійним 4-значним та двоколійним релейним АБТЦ; з одноколійним НАБ; з релейною ЕЦ за відсутності перегону; з релейною ЕЦ при розмежуванні зон управління за приймально-відправними коліями; з релейною ЕЦ при розмежуванні зон управління за ділянками колії; з пристроями гіркової автоматики; з пристроями переїзної автоматики для переїздів без чергового та із черговим на станції.

Слід зазначити, що дані рішення розроблялися для існуючих пристроїв СЦБ. Природно, ці рішення можна використовувати, однак з урахуванням впровадження ETCS і в них повинні бути внесені відповідні зміни. Ці зміни стосуватимуться передачі кодів АЛСН, оскільки ці схеми передбачають використання колійних кодових трансмітерів КПТШ.

Для роботи АЛСН (рис. 16) кодові сигнали, які несуть інформацію про показання прохідних світлофорів, передаються на локомотив за допомогою рейкових кіл. Формування, увімкнення і вимкнення кодових сигналів числового коду здійснюється схемами кодування. Для формування цих схем біля кожного прохідного світлофора встановлюються кодовий колійний трансмітер КПТШ і трансмітерне реле Т. КПТШ виробляє сигнальні коди, необхідні для передачі всіх сигнальних показань прохідного світлофора на локомотив (рис. 17).

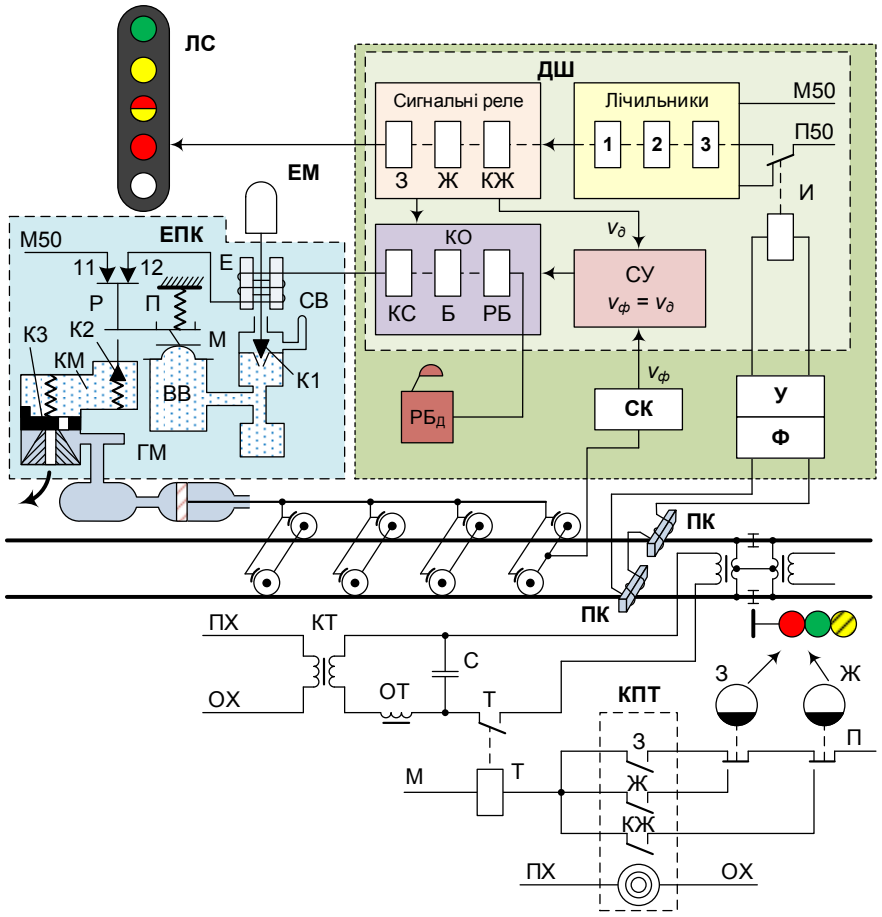

Рисунок 16 – Автоматична локомотивна сигналізація безперервного типу

На 2-му рівні ETCS коди АЛСН з центрального диспетчерського пункту передаються на локомотив засобами каналу GSM-R. Цей безпечний спосіб передачі інформації, що заснований на компоненті Euroradio системи GSM-R, дозволяє здійснювати обмін відповідальними командами між диспетчерським пунктом і рухомим складом. Виключення небезпечних збоїв гарантується надлишковим кодуванням сигналу.

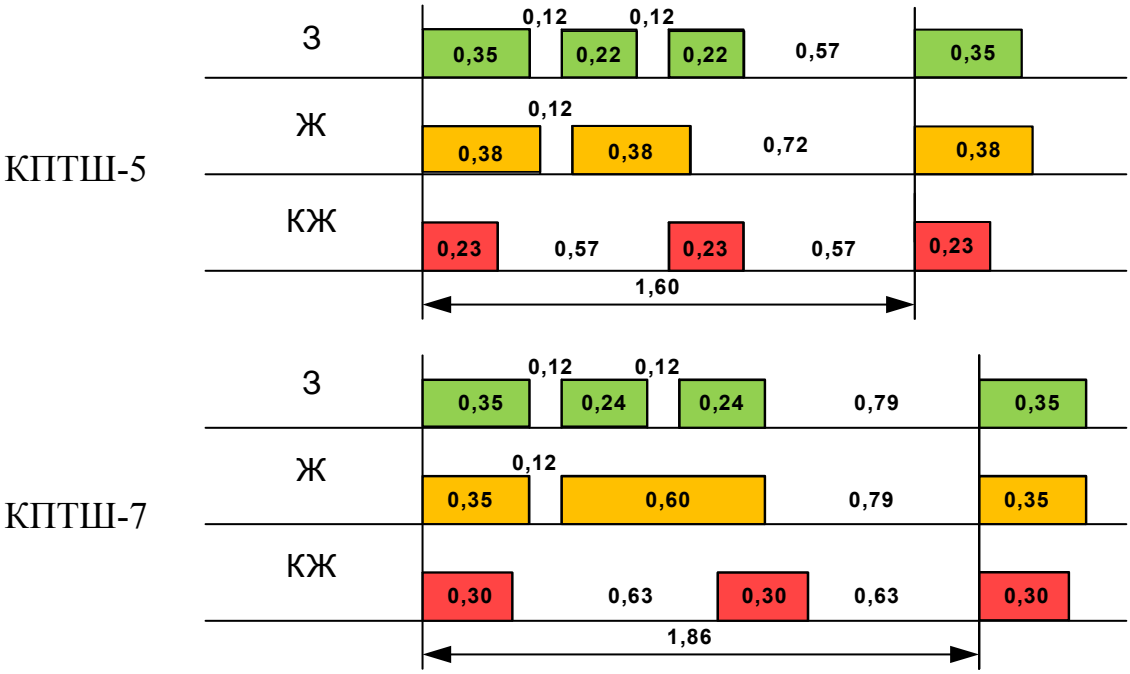

Рисунок 17 – Числові коди, які генеруються колійними трансмітерами КПТШ-5 та КПТШ-7.

Тепер перейдемо безпосередньо до технічних рішень щодо ув'язки МПЦ Ebilock-950 з пристроями СЦБ. На сьогоднішній день переважна більшість рейкових кіл на перегоні – це числові кодові. Тому технічні зміни повинні стосуватися саме ув'язки Ebilock-950 з кодовим АБ (одноколійним, двоколійним). На рис. 18 наведено частину схеми ув'язки МПЦ із одноколійним кодовим АБ.

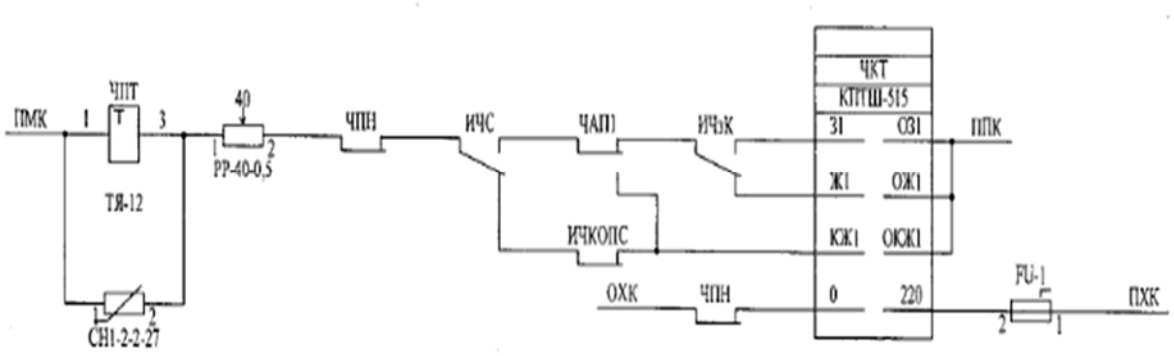

Рисунок 18 – Частина схеми ув'язки МПЦ Ebilock-950 з кодовим АБ

Дана схема взята з типових альбомів для проектування, розроблених Російським інститутом проектування сигналізації, централізації, зв'язку і радіо на залізничному транспорті «Гіпротранссигналзв'язок». Зміни в цих схемах повинні

торкнутися обладнання для передачі кодів АЛСН: КПТШ і трансмітерного реле Т, оскільки при організації ETCS рівня 2 коди АЛСН передаються засобами цифрового радіоканалу GSM-R. Таким чином, суть цих кодових кіл зведеться до фіксації місця розташування поїзда, тобто контролю за станом залізничного кола: вільного чи зайнятого. Крім того, як свідчить офіційна статистика за 2019 - 2020 роки, кількість відмов АЛСН також значна (табл. IV).

Таблиця IV – Статистика відмов АЛСН, повторених там же на залізницях України за 2019/2020 роки

Індекс	Донецька	Львівська	Одеська	Південнна	Південно-Західна	Придніп-ровська	Всього по УЗ
Кількість повторних відмов АЛСН	12/0	23/16	31/26	251/264	254/178	96/77	667/561
У тому числі і ті, які призвели до відключення АЛСН	10/0	2/4	21/15	12/20	30/29	31/21	106/89

Виходячи із зазначеного окреслюється і актуальність впровадження нової системи. Однак кодові рейкові кола введені в експлуатацію вже давно і в більшій мірі вичерпують свій ресурс. У зв’язку з цим їх переобладнання недоцільно.

Перспективним є використання тональних рейкових кіл (ТРК), основні переваги яких пов’язані з можливістю їх експлуатації без ізоляційних стиків. Виключається найбільш ненадійний елемент систем СЦБ – ізоляційні стики (на долю ізоляційних стиків припадає 27% усіх відмов пристроїв залізничних систем автоматики). Відсутня потреба у встановленні дорогих дросель-трансформаторів для пропускання зворотного тягового струму в обхід ізоляційних стиків. При цьому скорочується кількість відмов через обриви та крадіжки перемичок, а також знижуються витрати на обслуговування. У типових рішеннях щодо ув’язки ТРК

із МПЦ Ebilock-950, як і раніше, необхідно змінити схему кодування рейкових кіл (рис. 19).

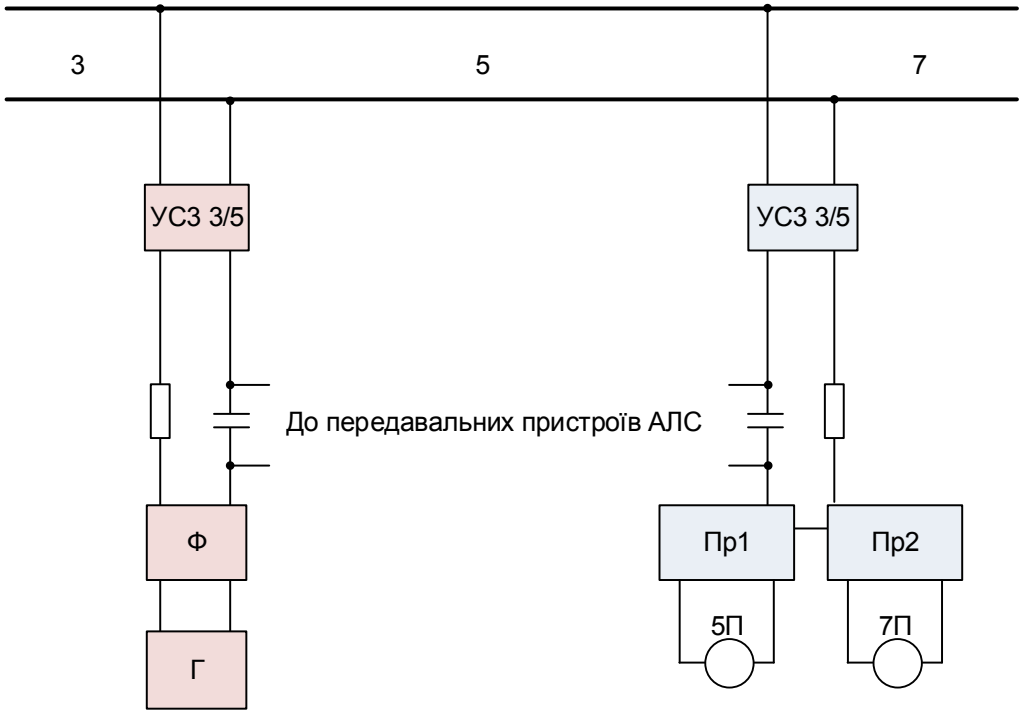

Рисунок 19 – Узагальнена структурна схема ТРК

Виходячи з проведеної роботи, можна зробити висновок, що перехід від релейної централізації та кодових рейкових кіл до більш нових систем (МПЦ, ТРК, ETCS) – це не данина моді. Це об'єктивна необхідність оновлення всього технологічного процесу управління перевезеннями і роботи структурних підрозділів залізничного транспорту на основі використання інформаційних технологій. Тут відразу проявляються переваги МПЦ, яка служить зручною сполучною ланкою між джерелами отримання первинної інформації (рухомий склад, засоби СЦБ тощо) і системами управління перевізним процесом вищого рівня, дозволяючи обійтися без додаткових надбудов, які були б потрібні при використанні електричної централізації на основі реле.

ВІДМОВИ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ

5.1 Вплив відмов пристроїв систем залізничної автоматики на поїзну роботу станцій

Відмови станційних пристроїв залізничної автоматики знижують пропускну здатність і переробну спроможність станцій. Наприклад, за статистикою, на двоколійній ділянці протяжністю 200 км вихід з ладу ЕЦ впродовж двох годин знижує пропускну здатність на 1,8 поїзда в день при середньому показникові потоку відмов і на 11 поїздів при максимальному значенні цього параметра.

При відмовах пристроїв ЕЦ збільшується тривалість трьох операцій: часу підготовки маршруту, часу відкриття сигналу і часу проходження поїздом маршруту прийому і відправлення. Збільшення останньої складової станційного інтервалу визначається тим, що запрошувальний сигнал на вхідному чи вихідному світлофорі, дозвіл на зеленому бланку або наказ чергового по станції, який передається засобами радіозв'язку, дає машиністу право прослідувати закритий світлофор і вести поїзд до моменту зупинки в дорозі або до першого прохідного світлофора зі швидкістю не вище 20 км/год з особливою пильністю і готовністю зупинитися, якщо є завада для подальшого руху.

Перша складова збільшується за рахунок того, що при організації руху поїздів по станції в період відновлення роботи пристроїв ЕЦ черговий по станції і працівники руху, які йому допомагають, повинні виконувати ряд операцій щодо встановлення і розділення маршрутів, що вимагає додаткових затрат часу. Крім того, в цих умовах з моменту виявлення несправності черговим по станції і до моменту початку встановлення першого маршруту проходить певний проміжок часу, який, по суті, є «вікном».

Друга складова зростає за рахунок того, що перед прийманням чи відправленням поїзда на забороняючий показ світлофора черговий повинен

виконати ряд додаткових операцій для особистої перевірки готовності маршруту для його подальшого використання.

На великих станціях при виході з ладу стрілок або рейкових кіл в зазначеному маршруті можна встановити варіантний маршрут, в результаті чого різко скорочується тривалість «вікна» і зберігається можливість роботи з автоматичною перевіркою умов безпеки руху поїздів без використання пошкоджених пристроїв на маршрутах, які задані. У цих умовах відмови менше впливають на процес перевезень і затримки можуть бути розраховані з урахуванням структурної надійності і ступеня заповнення горловини станції.

У разі реалізації системи Ebilock-950 або будь-якої іншої МПЦ також необхідно враховувати дуже важливу деталь – достовірність отримання інформації з колійних пристроїв на посту ЕЦ. Робота станційних систем автоматизації багато в чому залежить від надійності рейкових кіл, які працюють в умовах зниженого опору баластного шару, впливу промислових завад, наявності великої кількості ізоляційних стиків. Будь-який значний збій існуючих систем спричиняє затримки поїздів, втрати клієнтів тощо.

На рис. 20 наведено відсоток відмов пристроїв електричної централізації за період з 2014 по 2019 роки (6 років). На рисунку:

1 – Пульти, табло, апарати управління;

2 – Релейні шафи, стативи;

3 – Щитові установок електроживлення;

4 – Релейна і безконтактна апаратура;

5 – Трансформатори, перетворювачі, випрямлячі, електричні машини;

6 – Елементи захисту;

7 – Акумулятори та первинні елементи;

8 – Сигнали;

9 – Електроприводи;

10 – Повітряні лінії;

11 – Кабельні лінії;

12 – Рейкові кола;

13 – Невстановлені об’єкти;

14 – Інші.

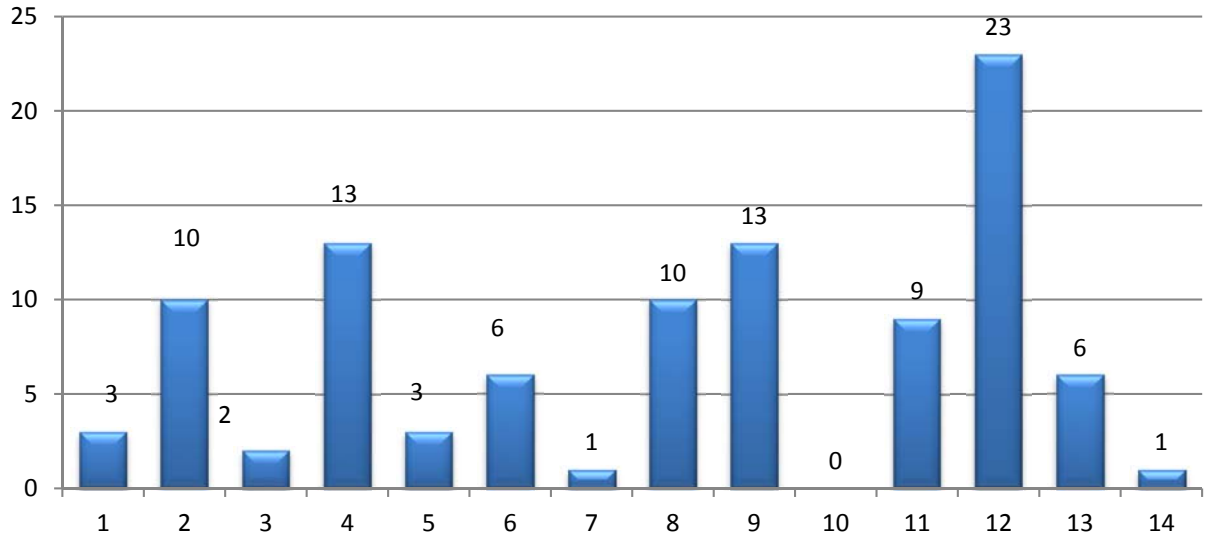

Рисунок 20 – Відмови пристроїв ЕЦ на дорогах Укрзалізниці

Усі згадані вище проблеми, в тій чи іншій мірі, впливають на роботу релейних, релейно-процесорних та мікропроцесорних централізацій. І це обов'язково необхідно враховувати при впровадженні нових систем. Якісна відмінність мікропроцесорної ЕЦ від релейної полягає в тому, що система може брати участь в прийнятті оператором рішень, або ініціювати його сама. Це ефективно, наприклад, після усунення відмови, за наявності значного обсягу робіт у чергового по станції, в тому випадку, коли необхідно пропустити значну кількість поїздів через станцію.

Особливо це необхідно, коли до всіх наявних проблем додається ще і відсутність певного досвіду чергового по станції. У цьому випадку безпеку руху можна підвищити за рахунок реалізації нових функцій, особливо в ситуаціях, коли управління на себе бере людина. Надалі кількість інтелектуальних функцій, які виконують мікропроцесорні системи централізації, збільшуватиметься що має підвищити показники продуктивності та безпеки системи централізації.

Якщо проаналізувати статистичні дані про відмови в пристроях ЕЦ, то побачимо, що найбільша кількість несправностей припадає на рейкові кола, стрілочні електроприводи, релейне обладнання, світлофори та елементи захисту.

Показники надійності об’єктів ЕЦ наведені в таблиці V. У цій таблиці також вказано час затримки поїзда через відмови електричної централізації, а також середня тривалість відмови.

Таблиця V – Показники надійності об’єктів ЕЦ

Параметр	Значення параметрів для об'єктів						
	Світлофори	Електроприводи	Рейкові кола	Постові пристрої	Джерела живлення	Маневрові колони	Кабельні лінії
Середня тривалість затримки одного поїзда, хв.	9.7	18.1	11.6	12.5	9.9	21	13.2
Середня тривалість затримки поїзда на одну відмову, хв.	6.21	11.95	4.99	4.25	8.6	22.26	12.8
Кількість затриманих поїздів, середнє значення за відмову	0.64	0.66	0.43	0.34	0.87	1.06	0.97
Кількість затриманих поїздів на тисячу маршрутів	0.08	0.09	0.1	0.015	0.02	0.015	0.03
Середній тривалість відмови, хв.	28.1	32.3	30.8	21.1	23.2	70.6	67.9

На першому місці за відмовами рейкові кола, які навіть при переході на мікропроцесорну елементну базу залишаються самим ненадійним елементом. У зв'язку з цим необхідно підвищити надійність автоматичного управління рухом поїздів на найбільш напружених ділянках залізниць, що в свою чергу вимагає достовірної і різноманітної інформації від первинних датчиків.

5.3 Підвищення показників надійності (безпеки і безвідмовності) МПЦ шляхом резервування. Аналіз ефективності систем резервування

Сучасні системи, які використовують ідентифікацію рухомого складу, будуються на основі точкових колійних датчиків (ТКД), які в розвинених країнах багато в чому визначають загальну ефективність автоматичних систем управління поїздами. Актуальність нових розробок і широке впровадження сучасних

точкових колійних датчиків в Україні на даний час обумовлюється також створенням міжнародних транспортних коридорів, в яких використовуються системи ідентифікації рухомого складу. Такі відомі датчики виявлення транспортних засобів, як рейкові кола, фотоелектричні пристрої, петлі, не вирішують проблему високої точності позиціонування осі колісної пари, надійного відліку осей, що необхідно для сучасних систем управління поїздами. Для того щоб підвищити ступінь надійності пристроїв залізничної автоматики і телемеханіки, необхідно одними датчиками дублювати інформацію про стан ділянок колії іншими, тобто виникає потреба у резервуванні обладнання.

Резервування може мати різну будову і принцип функціонування. Кожна резервована структура має свої показники безпеки, безвідмовності та надійності. Тому застосування тієї чи іншої конфігурації визначається необхідними рівнями цих показників для даної системи.

При конструюванні безпечних структур на даний час найчастіше використовуються двоканальні і три-канальні (мажоритарні) структури. Давайте розберемо ці структури. Стан двоканальної (дублюючої) системи, яка називається «два з двох» залежно від стану каналів наведено в табл. VI.

Таблиця VI – Стани системи «два з двох» залежно від стану каналів

Стан каналів		Стан системи «два з двох»
Канал 1	Канал 2	
Працездатний	Працездатний	Працездатний
Працездатний	Непрацездатний	Захисний
Непрацездатний	Працездатний	Захисний
Непрацездатний	Непрацездатний	Небезпечний

Введемо наступні позначення, які надалі використовуватимемо у виразах: Q – ймовірність відмови; P – ймовірність безвідмовної роботи; $P_Б$ – ймовірність безпечної роботи; λ – інтенсивність відмов; T – середнє напрацювання на відмову.

Один канал називається системою «один з одного». Система працює тільки тоді, коли канал працює. Якщо відома швидкість відмов одного каналу, то показники безвідмовної роботи одного каналу розраховуються за формулами:

$$P_{1\vee 1}(t) = e^{-\lambda t}; \tag{6.1}$$

$$Q_{1\vee 1}(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \tag{6.2}$$

$$T_{1\vee 1} = \frac{1}{\lambda} \tag{6.3}$$

Система «два з двох» працює лише тоді, коли обидва канали працюють, тоді

$$P_{2\vee 2}(t) = P_1(t)P_2(t) = e^{-2\lambda t} \cong 1 - 2\lambda t; \tag{6.4}$$

$$Q_{2\vee 2}(t) = 1 - e^{-2\lambda t} \cong 2\lambda t; \tag{6.5}$$

$$\lambda_{2\vee 2}(t) = 2\lambda; \tag{6.6}$$

$$T_{2\vee 2} = \frac{1}{2\lambda}. \tag{6.7}$$

Система переходить в небезпечний стан, коли обидва канали не працюють. Тому:

$$Q_{\text{оп}2\vee 2}(t) = Q_1(t)Q_2(t) = (1 - e^{-\lambda t})^2 \approx \lambda^2 t^2; \tag{6.8}$$

$$P_{\text{Б}2\vee 2}(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^2 = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t} \cong 1 - \lambda^2 t^2; \tag{6.9}$$

$$\lambda_{\text{оп}2\vee 2}(t) = -\frac{P'_{\text{Б}2\vee 2}(t)}{P_{\text{Б}2\vee 2}(t)} = \frac{2\lambda(1 - e^{-\lambda t})}{2 - e^{-\lambda t}} \cong 2\lambda^2 t; \tag{6.10}$$

$$T_{\text{оп}2\vee 2} = \int_0^\infty P_{\text{Б}2\vee 2}(t)dt = \int_0^\infty (2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t})dt = \frac{2}{\lambda} - \frac{1}{2\lambda} = \frac{3}{2\lambda}. \tag{6.11}$$

Для даного моменту часу t ймовірність безпечної роботи системи «два з двох» збільшується в порівнянні з ймовірністю безпечної роботи одного каналу у $\left(2e^{\lambda t} - 1\right)$ рази, так як

$$\frac{P_{\text{Б}2\vee 2}(t)}{P_{1\vee 1}(t)} = \frac{2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = 2 - e^{-\lambda t}. \tag{6.12}$$

З цього можна зробити висновок, що ймовірність безпечної роботи двоканальної системи «два з двох» не може бути більше ймовірності безпечної роботи одного каналу більше ніж у 2 рази. Наприклад, при t=10t це збільшення становить 1,999955. Щоб отримати більший приріст безпеки, необхідно збільшити кількість каналів (кратність резервування) в багатоканальній системі. Якщо порівняти двоканальні і одноканальні системи за показником надійності, то побачимо, що один канал має перевагу перед двома в цьому аспекті.

В результаті має місце вираз:

$$P_{Б2\vee2}(t) - P_{1\vee1}(t) = P_{1\vee1}(t) - P_{2\vee2}(t) = e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t} = \Delta P. \qquad (6.13)$$

Тому по відношенню до одного каналу в двоканальній системі «два з двох» для моменту часу t_i приріст ймовірності безпечної роботи дорівнює зниженню ймовірності безвідмовної роботи. У системі «два з двох» є істотний недолік: безпека забезпечується за рахунок зменшення безвідмовності.

Найчастіше при конструюванні систем застосовують триканальні мажоритарні структури («два з трьох»). У табл. VII наведено характеристику станів мажоритарної системи в залежності від стану каналів.

Таблиця VII – Стани системи «два з трьох» залежно від стану каналів

Стан каналів			Стан системи «два з трьох»
Канал 1	Канал 2	Канал 3	
Працездатний	Працездатний	Працездатний	Працездатний
Працездатний	Працездатний	Непрацездатний	Працездатний
Працездатний	Непрацездатний	Працездатний	Працездатний
Працездатний	Непрацездатний	Непрацездатний	Небезпечний
Непрацездатний	Працездатний	Працездатний	Працездатний
Непрацездатний	Працездатний	Непрацездатний	Небезпечний
Непрацездатний	Непрацездатний	Працездатний	Небезпечний
Непрацездатний	Непрацездатний	Непрацездатний	Небезпечний

Стан всієї системи може бути працездатним або небезпечним. З цієї таблиці випливає принцип роботи мажоритарної системи «два з трьох»: система працює, якщо працюють не менше двох каналів з трьох; при виході з ладу двох каналів система переходить в небезпечний стан; захисні стани відсутні. Показники безвідмовності системи «два з трьох» визначаються за формулами:

$$P_{2\vee 3}(t) = P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_4(t) = 3e^{-2\lambda t} - 2e^{-3\lambda t}; \quad (6.14)$$

$$\lambda_{2\vee 3}(t) = -\frac{P'_{2\vee 3}(t)}{P_{2\vee 3}(t)} = \frac{6\lambda(1-e^{-\lambda t})}{3-2e^{-\lambda t}}; \quad (6.15)$$

$$T_{2\vee 3} = \int_0^\infty P_{2\vee 3}(t)dt = \int_0^\infty (3e^{-2\lambda t} - 2e^{-3\lambda t})dt = \frac{3}{2\lambda} - \frac{2}{3\lambda} = \frac{5}{6\lambda} = 0{,}83\frac{1}{\lambda} \quad (6.16)$$

Оскільки всі відмови системи «два з трьох» небезпечні, виникають такі рівняння:

$$P_{2\vee 3}(t) = P_{\text{Б}2\vee 3}(t); \quad (6.17)$$

$$\lambda_{2\vee 3}(t) = \lambda_{\text{оп}2\vee 3}(t); \quad (6.18)$$

$$T_{2\vee 3} = T_{\text{оп}2\vee 3}. \quad (6.19)$$

Безвідмовність мажоритарної системи перевищує безвідмовність системи «два з двох» при усіх значеннях. В області великих значень λt значення $P_{2\vee 3}(t)$ перевищує значення $P_{2\vee 2}(t)$ в 3 рази.

Безпека мажоритарної системи, навпаки, менша, ніж безпека систем «два з двох» при всіх значеннях λt. Це пояснюється тим, що в системі «два з трьох» всі системні відмови є небезпечні (відсутність захисних відмов). В області малих значень λt ($\lambda t < 0{,}2$) це зниження незначне. Наприклад, при $\lambda t = 0{,}2$ у відношенні до системи «два з двох» безпека мажоритарної системи знижується на 5,5%, в той час як безвідмовність підвищується на 36,3%.

У порівнянні з системою «два з двох» відносна зміна інтенсивності відмов системи «два з трьох» дорівнює зміні інтенсивності небезпечних відмов. В цілому

система «два з двох» у порівнянні з системою «два з трьох» дає значне підвищення безвідмовності при суттєвому зниженні безпеки.

З метою підвищення показників безпеки мажоритарної структури, зберігаючи при цьому колишній рівень безвідмовності, застосовують систему «два з трьох» з реконфігурацією. У цій системі при відмові одного з каналів виходи цього каналу відключаються і структура «два з трьох» трансформується в структуру «два з двох». У табл. VIII наведено таблицю станів системи «два з трьох» з реконфігурацією.

Таблиця VIII – Стани системи «два з трьох» з реконфігурацією залежно від стану каналів

№	Стан каналів			Стан системи «два з трьох»
	Канал 1	Канал 2	Канал 3	
1	Працездатний	Працездатний	Працездатний	Працездатний
2	Працездатний	Працездатний	Непрацездатний	Працездатний
3	Працездатний	Непрацездатний	Працездатний	Працездатний
4	Працездатний	Непрацездатний	Непрацездатний	Захисний
5	Непрацездатний	Працездатний	Працездатний	Працездатний
6	Непрацездатний	Працездатний	Непрацездатний	Захисний
7	Непрацездатний	Непрацездатний	Працездатний	Захисний
8	Непрацездатний	Непрацездатний	Непрацездатний	Небезпечний

Для цієї системи, на відміну від системи "два з трьох ", при виході з ладу двох каналів система переходить у захисний стан. Тому:

$$P_{Б2\vee 3Р}(t) = 1 - P_7 = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^3 = 3e^{-\lambda t} - 3e^{-2\lambda t} + e^{-3\lambda t}; \quad (6.20)$$

$$\lambda_{оп2\vee 3Р}(t) = -\frac{P'_{Б2\vee 3Р}(t)}{P_{Б2\vee 3Р}(t)} = \frac{3\lambda - 6\lambda e^{-\lambda t} + 3\lambda e^{-2\lambda t}}{3 - 3e^{-\lambda t} + e^{-2\lambda t}}; \quad (6.21)$$

$$T_{оп2\vee 3Р} = \int_0^\infty P_{Б2\vee 3Р}(t)dt = \int_0^\infty (3e^{-\lambda t} - 3e^{-2\lambda t} + e^{-3\lambda e})dt = \frac{3}{\lambda} - \frac{3}{2\lambda} + \frac{1}{3\lambda} = \frac{11}{6\lambda} = 1{,}83\frac{1}{\lambda} \quad (6.22)$$

Відношення ймовірностей безпеки системи «два з трьох» з реконфігурацією до одноканальної системи виражається наступним виразом:

$$\frac{P_{Б2\vee 3Р}(t)}{P_{1\vee 1}(t)} = 3 - 3e^{-\lambda t} + e^{-2\lambda t}. \qquad (6.23)$$

Таким чином, в області великих значень λt ймовірність безпечної роботи системи «два з трьох» з реконфігурацією у три рази більша значення $P_{1\vee 1}(t)$, оскільки небезпечна відмова виникає тільки при виході з ладу всіх трьох каналів одночасно. При цьому значення $P_{Б2\vee 3Р}(t)$ перевищує значення $P_{Б2\vee 2}(t)$ в 1,5 рази, оскільки небезпечна відмова в системі «два з двох» виникає при виході з ладу двох каналів одночасно (рис. 21).

Співвідношення, за яким будується даний графік:

$$\frac{P_{Б2\vee 3Р}(t)}{P_{Б2\vee 2}(t)} = \frac{3 - 3e^{-\lambda t} + e^{-2\lambda t}}{2 - e^{-\lambda t}}; \qquad (6.24)$$

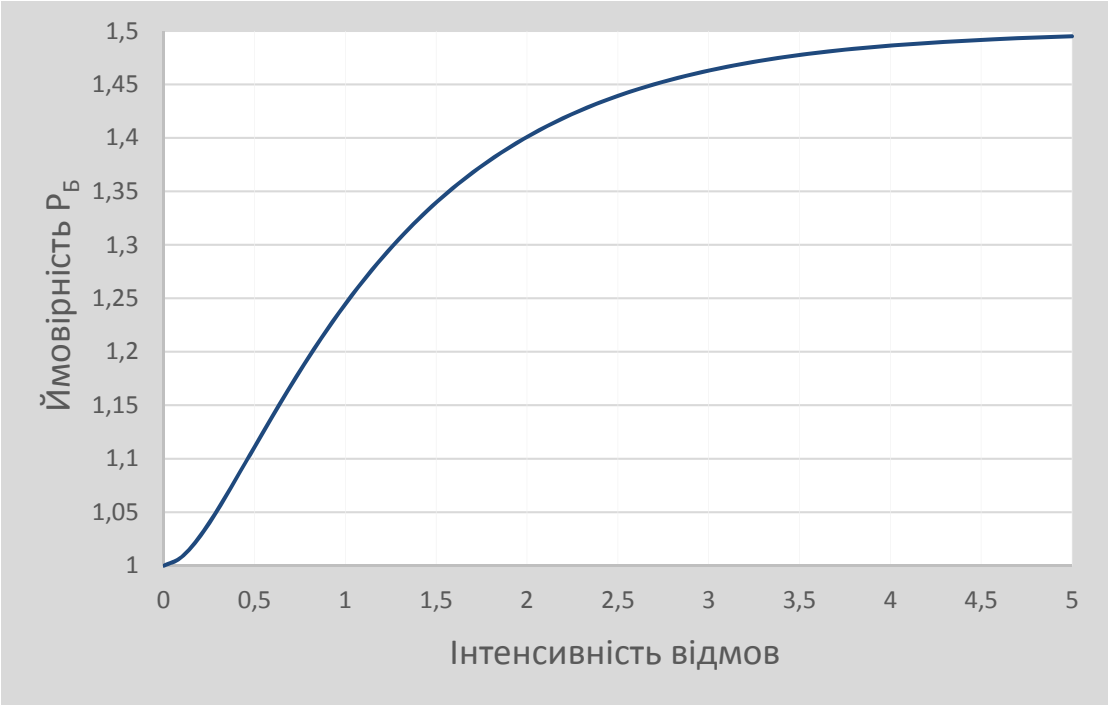

Рисунок 21 – Графік співвідношення безпеки систем «два з трьох» з реконфігурацією і двоканальної (співвідношення ймовірностей безпеки)

З точки зору безвідмовності в області малих значень λt найкращими показниками володіють мажоритарна система «два з трьох» і система «два з трьох» з реконфігурацією. Особливо ця перевага перед іншими системами дуже велика при високій надійності одного каналу.

В області великих значень λt безвідмовність конструкцій «два з трьох» і «два з трьох» з реконфігурацією стає нижчою за надійність одного каналу. Наприклад, для системи «два з трьох» це відбувається при $\lambda t > 0,69$. Коли $\lambda t \to \infty$ ці системи переналаштовуються в дублюючі системи й інтенсивність їх відмов наближається до значення 2λ. Відбувається це тому, що в конструкції «два з трьох» з реконфігурацією пріоритет безпеки за рахунок безвідмовності. Ці обставини пояснюють той факт, що одноканальна система володіє найвищим значенням середнього напрацювання на небезпечну відмову:

$$T = \frac{1}{\lambda}. \qquad (6.25)$$

Система «два з трьох» з реконфігурацією володіє кращими показниками безвідмовності у порівнянні з системою «два з трьох» (рис. 22).

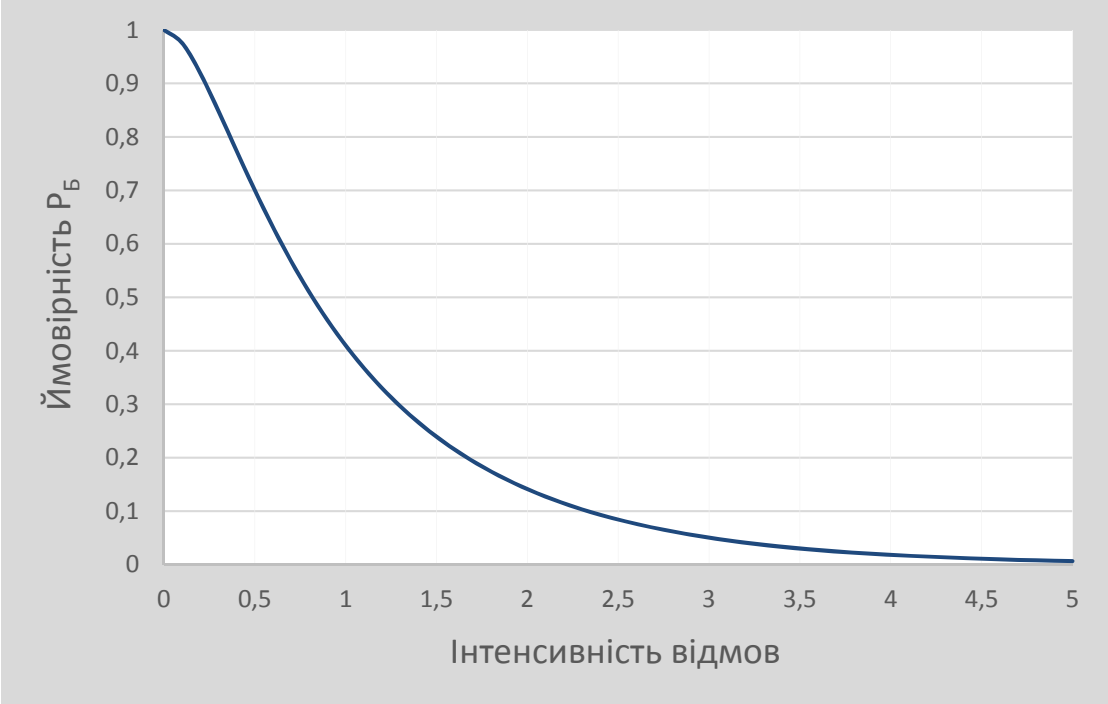

Рисунок 22 – Графік коефіцієнта безпеки систем «два з трьох» і «два з трьох» з реконфігурацією (співвідношення ймовірностей безпеки)

В області малих значень дана система забезпечує високий рівень безпеки. Конструкція «два з трьох» з реконфігурацією вдало поєднує в собі високу якість безвідмовності мажоритарних структур і високі якості безпеки кон'юнктивного співпадіння. Система «два з трьох» з реконфігурацією має найвищі значення середнього напрацювання на небезпечну відмову - $1{,}83\frac{1}{\lambda}$.

У табл. IX наведені формули для визначення показників безвідмовності та безпеки основних структур.

Таблиця IX – Показники безвідмовності та безпеки основних структур

Показник	структура			
	1∨1	2∨2	2∨3	2∨3Р
$P(t)$	$e^{-\lambda t}$	$e^{-2\lambda t}$	$3e^{-2\lambda t}-2e^{-3\lambda t}$	$3e^{-2\lambda t}-2e^{-3\lambda t}$
$\lambda(t)$	λ	2λ	$\frac{6\lambda(1-e^{-\lambda t})}{3-2e^{-\lambda t}}$	$\frac{6\lambda(1-e^{-\lambda t})}{3-2e^{-\lambda t}}$
T	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{2\lambda}=0{,}5\frac{1}{\lambda}$	$\frac{5}{6\lambda}=0{,}83\frac{1}{\lambda}$	$\frac{5}{6\lambda}=0{,}83\frac{1}{\lambda}$
$P_{\text{Б}}(t)$	$e^{-\lambda t}$	$2e^{-\lambda t}-e^{-2\lambda t}$	$3e^{-2\lambda t}-2e^{-3\lambda t}$	$3e^{-\lambda t}-3e^{-2\lambda t}+e^{-3\lambda t}$
$\lambda_{\text{оп}}(t)$	λ	$\frac{2\lambda(1-e^{-\lambda t})}{2-e^{-\lambda t}}$	$\frac{6\lambda(1-e^{-\lambda t})}{3-2e^{-\lambda t}}$	$\frac{3\lambda-6\lambda e^{-\lambda t}+3\lambda e^{-2\lambda t}}{3-3e^{-\lambda t}+e^{-2\lambda t}}$
$T_{\text{оп}}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{3}{2\lambda}=1{,}5\frac{1}{\lambda}$	$\frac{5}{6\lambda}=0{,}83\frac{1}{\lambda}$	$\frac{11}{6\lambda}=1{,}83\frac{1}{\lambda}$

Системи «два з трьох» та «два з трьох» з реконфігурацією дійсно мають хороші показники надійності, але якщо мова йде про ці структури як про системи, які відповідають за видачу важливої інформації, то є і деякі недоліки. Для прикладу візьмемо структуру «два з трьох» з реконфігурацією. Ця структура працює, коли два канали працюють, а третій – ні. Як поведе себе система в тому випадку, наприклад, якщо працездатний канал видає помилкову інформацію? Так, система буде знаходитися у працездатному стані, але яку інформацію вона видасть на виході, яка команда буде отримана і як вона вплине на подальший процес функціонування апаратури ЕЦ? Звідси і виникає проблема надійності роботи централізації внаслідок недостовірної інформації. Значна кількість відмов

на станції відбуваються внаслідок невірних і помилкових даних. Рішенням цієї проблеми є застосування структури «три з трьох». Працює така система за наступним принципом: всі три канали працездатні (і дають однакову інформацію) – стан структури працездатний (на виході системи достовірна інформація); якщо один чи два канали непрацездатні – система переходить у захисний стан (інформація класифікується як недостовірна); якщо всі три канали непрацездатні, стан системи класифікується як небезпечна відмова. Таблиця станів структури «три з трьох» наведена в табл. Х.

Таблиця Х – Стани системи «три з трьох» залежно від стану каналів

№	Умова			Стан системи «три з трьох»
	Канал 1	Канал 2	Канал 3	
1	Працездатний	Працездатний	Працездатний	Працездатний
2	Працездатний	Працездатний	Непрацездатний	Захисний
3	Працездатний	Непрацездатний	Працездатний	Захисний
4	Працездатний	Непрацездатний	Непрацездатний	Захисний
5	Непрацездатний	Працездатний	Працездатний	Захисний
6	Непрацездатний	Працездатний	Непрацездатний	Захисний
7	Непрацездатний	Непрацездатний	Працездатний	Захисний
8	Непрацездатний	Непрацездатний	Непрацездатний	Небезпечний

У порівнянні з конструкціями «два з трьох» чи «два з трьох» з реконфігурацією, система «три з трьох» володіє нижчим показником безвідмовності та однаковим з ними показником безпеки, це зумовлюється тим, що система в більшості випадків переходить в захисний стан.

Такий принцип роботи пояснюється призначенням даної структури як інформаційної. Тому важливість прийняття правильного рішення (або отримання достовірної інформації) є більш високим пріоритетом, а значить, і нижчими показниками надійності. Перевагою тут є чітке розмежування стану системи з виключенням всіх ситуацій, які могли б вплинути на подальшу роботу всієї структури. Показники безвідмовності та безпеки розраховуються за формулами:

$$P_{3\vee3}(t) = e^{-3\lambda t}; \qquad (6.35)$$

$$P_{Б3\vee3}(t) = 1 - P_7 = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^3 = 3e^{-\lambda t} - 3e^{-2\lambda t} + e^{-3\lambda t}; \qquad (6.48)$$

На рис. 23 наведені графіки залежності ймовірностей безвідмовної роботи від інтенсивності відмов всіх систем.

На графіках рис. 23: крива №1 синього кольору – залежність ймовірності надійності від аварійності системи «один з одного»; крива №2 зеленого кольору – системи «два з двох», крива №3 червоного кольору – систем «дві з трьох» і «дві з трьох» з реконфігурацією і крива №4 оранжевого кольору – системи «три з трьох».

Із рис. 23 видно, що при низьких значеннях інтенсивності відмов показники надійності приблизно однакові і тільки при збільшенні *t* кожна структура поводиться по-різному. І це обов'язково потрібно враховувати при виборі систем та подальшому проведенні періодичних профілактичних оглядів.

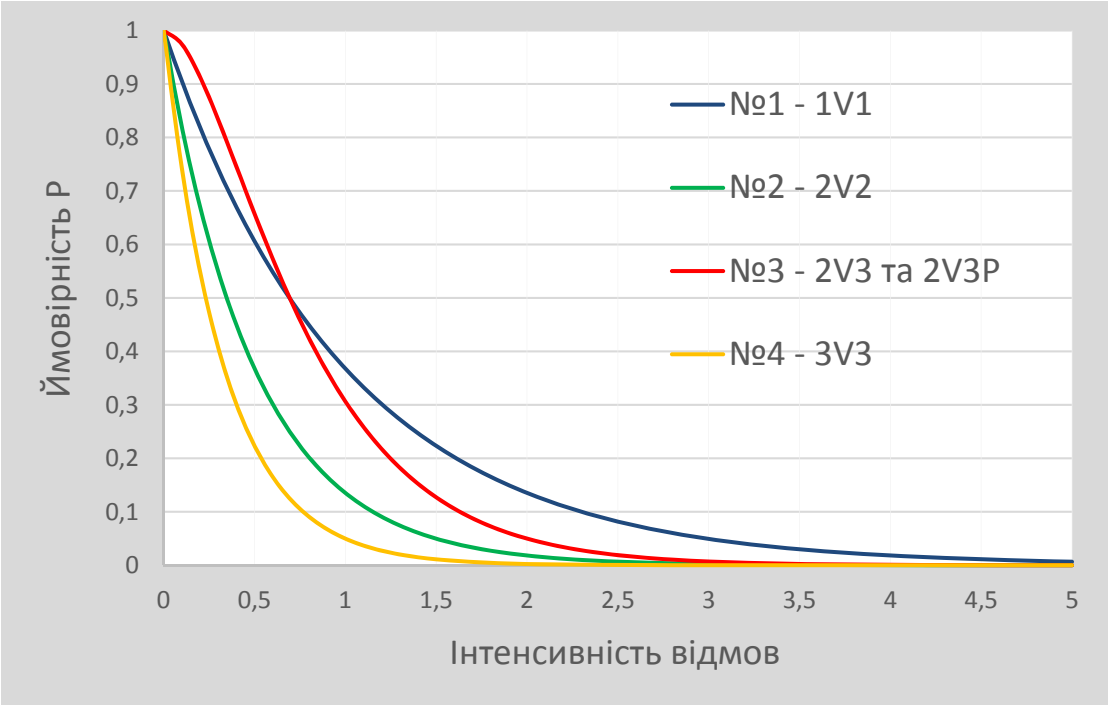

Рисунок 23 – Порівняльний графік залежності ймовірності безвідмовності від інтенсивності відмов для різних систем

На рис. 24 наведено графік залежності ймовірності безпеки від аварійності всіх систем.

На графіках рис. 24: крива №1 синього кольору – залежність ймовірності безпеки від аварійності відмов системи «один з одного»; крива №2 зеленого кольору – системи «два з двох»; крива №3 червоного кольору – системи «дві з трьох» і крива №4 оранжевого кольору – систем «дві з трьох» з реконфігурацією і «три з трьох». Проаналізувавши графік, показаний на рис. 24, можна зробити висновок, що найбезпечніша система – це система «два з трьох» з реконфігурацією. Але використання тієї чи іншої конструкції залежить від умов експлуатації, нормативних вимог безпеки, призначення системи, її функціонування, ефективності використання тощо.

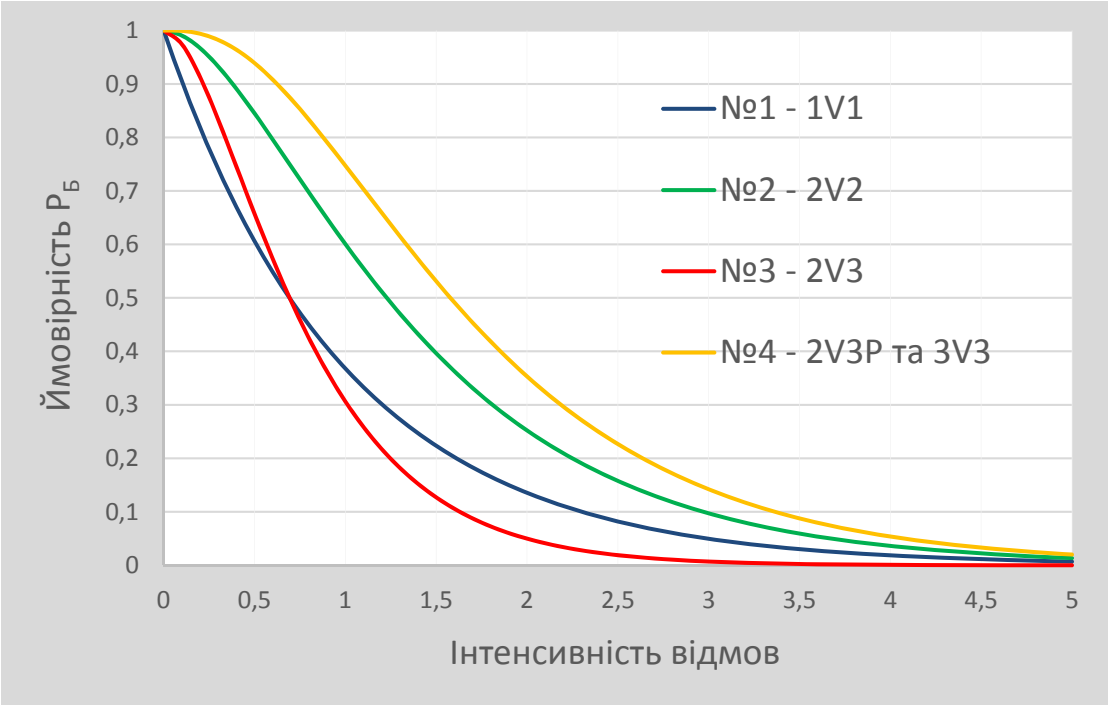

Рисунок 24 – Порівняльний графік залежності ймовірності безпеки від інтенсивності відмов для різних систем

На рис. 25 і рис. 26 наведено структури систем резервування: «три з трьох» і «два з трьох» відповідно.

Отже, крім імовірнісних оцінок показників безпеки, слід також зазначити, що найбільша актуальність розробки нових первинних перетворювачів даних для каналів і обробці вимірюваної ними інформації пов’язана з проектуванням сучасних складних автоматичних систем залізничної автоматики і телемеханіки.

Таким чином, розробка теоретичних основ ефективного функціонування перетворювачів даних, їх удосконалення, є актуальним науковим завданням, а також має велике значення для всього залізничного транспорту України.

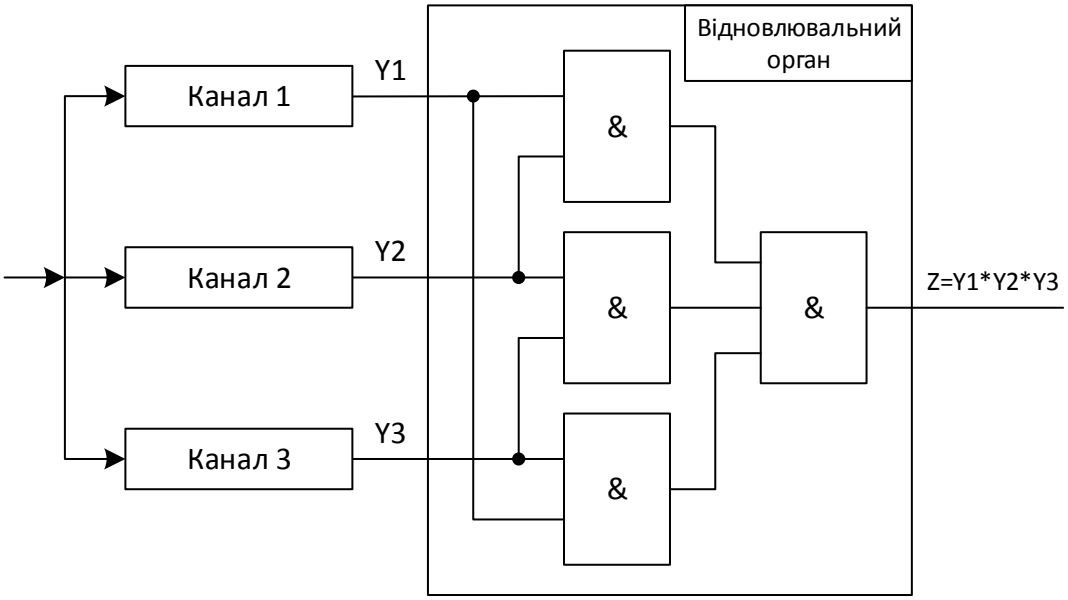

Рисунок 25 – Структура системи резервування «три з трьох»

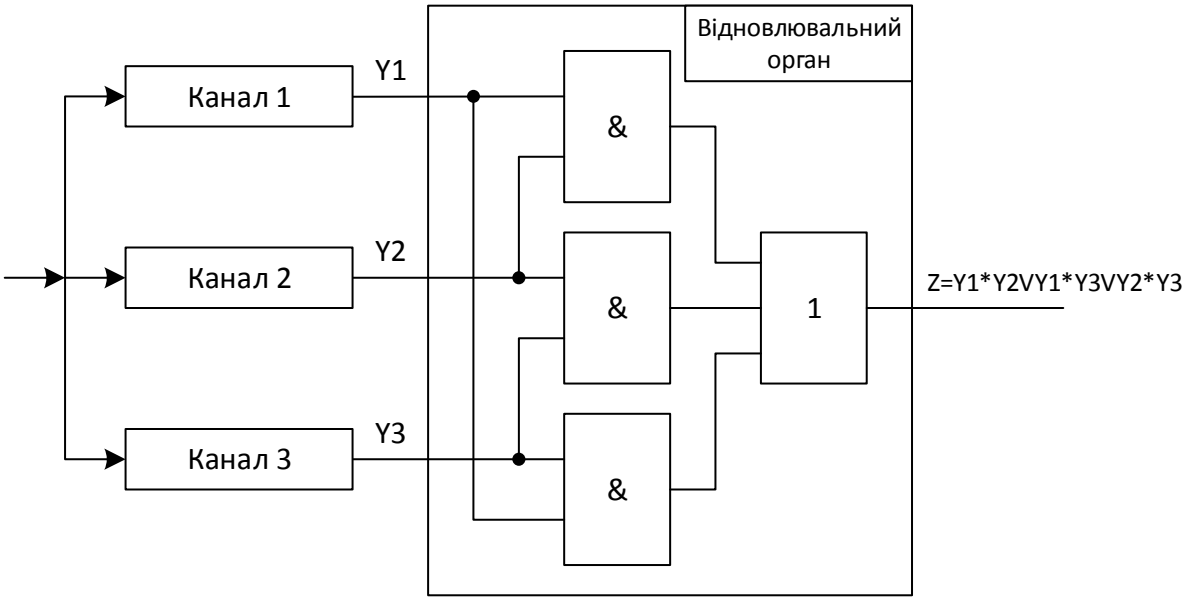

Рисунок 26 – Структура системи резервування «два з трьох»

5.4 Забезпечення надійного електроживлення МПЦ

Наступна проблема у функціонуванні МПЦ пов’язана з електропостачанням її обладнання. Пристрої ЕЦ повинні мати два незалежних джерела живлення, які резервують один одного. Незалежний блок живлення - це джерело, на якому підтримується напруга при його відключенні на інших (інших) джерелах. Подача напруги на пост ЕЦ повинна проводитися незалежними лініями електропередач – фідерами. Кожен з фідерів виконана у виді чотирижильного кабелю (три жили і фаза), перетин якого визначається максимальним струмом навантаження.

Крім того, в якості резервного джерела живлення для пристроїв ЕЦ можуть застосовуватись електростанції з автоматизованим дизель-генератором (ДГА), який для споживачів є третім незалежним джерелом живлення. Система електропостачання повинна забезпечувати автоматичний запуск ДГА за умови, що ці електростанції обслуговують тільки пристрої СЦБ і зв’язку. За наявності вільної потужності ДГА може використовуватися для живлення негарантованого освітлення і загальної вентиляції будівлі поста. Запас палива для ДГА повинен забезпечувати роботу дизель-генератора впродовж 2 діб.

Повинен також бути передбачений акумуляторний резерв для живлення пристроїв СЦБ і зв’язку. Комп’ютерні (мікропроцесорні) ЕЦ є споживачами електроенергії 1-ї категорії і повинні отримувати живлення від двох незалежних джерел енергії двома фідерами, а на великих станціях доповнюватися ДГА з автоматичним перемиканням з одного фідера на інший у разі втрати напруги.

Наявність обчислювальних засобів у складі систем ЄЦ пред’являє додаткові вимоги до електропостачання. На жаль, параметри електромереж не завжди відповідають нормі, тому питання гарантованого електропостачання системи при виникненні несправностей електромережі є надзвичайно актуальним. До пошкоджень відноситься будь-яке відхилення параметрів напруги живлення від значень, встановлених стандартом. Основними проблемами мережевого живлення є: аварії в мережі (повна втрата напруги); тривалі і короткочасні підсаджування і скачки напруги; високовольтні імпульсні завади; високочастотні шуми; коливання частоти.

Електронне обладнання комп'ютерних систем ЕЦ в процесі експлуатації знаходиться під впливом різних електромагнітних завад, значна частина яких розподілена колами електроживлення. Використання двох незалежних фідерів живлення дозволяє тільки значно знизити ймовірність повної втрати напруги мережі, однак залежність системи від якості цієї напруги зберігається.

Ці фактори можуть спричинити не тільки збої в роботі комп'ютера чи іншої електронної техніки і, як наслідок, втрату даних, а й незворотні процеси руйнування програмного продукту, а також виходу з ладу обладнання. Статистика пошкоджень мікропроцесорних пристроїв свідчить про те, що 75% всіх пошкоджень мікропроцесорних пристроїв відбувається через перенапругу. Статистика також показує, що з причин, пов'язаних зі збоями в електромережі, в 75% випадків відбувається втрата інформації і в 65% випадків виходить з ладу електронне обладнання. Спотворене, нестабільне електроживлення системи негативно позначається на роботі файлових серверів, робочих станцій і мережевого обладнання (хабів, маршрутизаторів, комутаторів, мостів тощо). Так, зі зниженням напруги збільшується споживання струму, в результаті підвищується температура всередині корпусу системного блоку, монітора, модемів та інших периферійних пристроїв. Підвищена температура значно скорочує термін служби багатьох елементів, особливо електролітичних конденсаторів, спричиняє вихід з ладу напівпровідникових елементів. Наприклад, «смертельно небезпечні» для внутрішніх мікроелементів мікросхем і процесорів перенапруги з амплітудами до декількох кіловольт, які виникають внаслідок процесів комутації або при впливі електростатичних розрядів. Згідно з даними, звичайні транзистори (дискретні елементи) можуть витримувати напругу електростатичного розряду в 70 разів більшу, ніж, наприклад, мікрочіп пам'яті (ЕПРОМ) мікропроцесорної системи. Найгірше те, що випадкові збої в роботі мікропроцесора, що виникли в результаті впливу електромагнітних шумів, можуть носити тимчасовий характер, як самовільна зміна вмісту оперативної пам'яті (ОЗУ) і регістрів, а внутрішні пошкодження можуть носити внутрішній характер. Обидва ці види пошкоджень не визначаються ніякими тестами і можуть

проявлятися у самі невідповідні моменти. Тому в зв'язку з низькою стійкістю такого обладнання до перехідних процесів і перенапруг доводиться пред'являти жорсткі вимоги до захисту від електромагнітних завад.

З метою забезпечення стабільної роботи системи за параметрами електропостачання використовують пристрої безперебійного живлення (ПБЖ). Існує два підходи до використання ПБЖ в МПЦ:

Перший підхід передбачає живлення від ПБЖ тільки обчислювальних засобів, а всі інші пристрої ЕЦ (реле, стрілки, сигнали) підключаються до традиційних силових панелей. При цьому на кожен (основний і резервний) комплекти АРМ ДСП та АРМ ШН встановлюються окремі малопотужні (до 1000 ВА) ПБЖ з тривалістю електропостачання 10-15 хвилин при зникненні гарантованої напруги. Безперервність роботи комп'ютерної техніки узгодження з ЕЦ забезпечується шляхом подачі постійного струму напругою 24 В від резерву акумуляторів контрольної батареї поста ЕЦ.

Основний недолік традиційних панелей в складі безбатарейної системи живлення полягає в тому, що при зникненні напруги зовнішніх фідерів від акумуляторного резерву живляться тільки реле. Нормальна робота інших пристроїв припиняється: відсутній контроль за положенням стрілок, не переводяться стрілки з двигунами змінного струму і порушується світлофорна сигналізація на станції, за винятком загороджувальної на вхідних світлофорах. Прийнято вважати, що припинення роботи ЕЦ внаслідок відсутності електроенергії не тягне за собою загрози порушення умов безпеки перевізного процесу. Однак непряма загроза залишається, оскільки персонал змушений регулювати рух без технічних засобів, що, крім того, призводить до втрат в русі внаслідок переведення станції на курбельне управління.

Умовою безперебійної роботи ЕЦ є постійна наявність живлення. Тому другий підхід передбачає використання в складі системи живлення потужних ПБЖ, які повністю забезпечують електропостачання для всіх пристроїв ЕЦ не менше ніж впродовж 1 год. Така тривалість обумовлена середньою нормою часу прибуття обслуговуючого персоналу для усунення відмови.

Пристрої безперебійного живлення повинні вирішувати два основних завдання: забезпечення прийнятної якості електроенергії на виході, усуваючи потенційні збурення вхідної напруги і виконання функції резервного джерела енергії в разі повної втрати (або відхилення за встановлені норми) вхідної напруги.

До складу будь-якого ПБЖ входять наступні елементи: вхідний фільтр (ВФ), до складу якого входять радіочастотний фільтр та імпульсний подавлювач; акумуляторна батарея (АКБ) із зарядним пристроєм (ЗП); інвертор-перетворювач постійного струму в змінний; у деяких типах ПБЖ – перетворювач постійного струму в постійний струм іншого номіналу (конвертор); в деяких видах ПБЖ – різноманітні трансформаторні розв'язки між виходом і входом.

Здатність ПБЖ забезпечувати задану якість і безперебійність подачі живлення на навантаження визначається, в основному, його внутрішньою архітектурою або класом.

Відповідно до міжнародного стандарту IEC60146-4 виділяють три класи джерел: off-line (standby), line-interactive, on-line.

У off-line класі ПБЖ електроенергія від зовнішнього джерела живлення передається на навантаження через імпульсний пригнічувач імпульсів та радіочастотний фільтр (рис. 27).

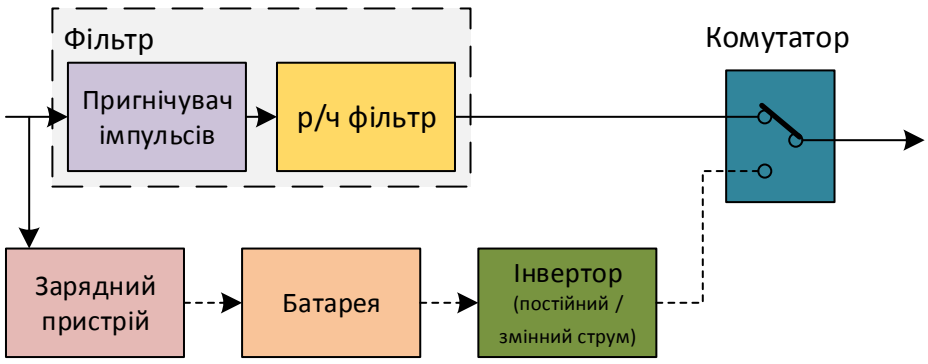

Рисунок 27 – Функціональна схема
пристрою безперебійного живлення класу off-line

У разі неприпустимих збурень або повної втрати вхідної напруги спеціальні ключі перемикають навантаження, підключене до ПБУ, на АКБ з інвертором. Частим недоліком таких ПБУ є час перемикання на резервне джерело, при якому на виході пристрою відбувається розрив синусоїди напруги на час 1-15 мс.

Завдяки великій сумарній вхідній ємності блоків живлення ПК, достатньої для підтримання номінальної напруги на силових елементах кола впродовж такого періоду часу (менше чверті періоду синусоїди), перерви в електропостачанні вторинних кіл живлення комп'ютерів не буде. Однак для деяких споживачів така перерва неприпустима. До них відносяться, наприклад, споживачі з лінійними (трансформаторними) джерелами живлення, малопотужне (з точки зору споживання струму) мережеве обладнання (ретранслятори, концентратори, комутатори тощо).

Недоліком УБП класу off-line також є його незадовільна робота при низькій якості вхідної напруги, коли відбуваються часті перемикання на АКБ і назад. У цьому випадку важко відновлюється ємність акумулятора.

Основними перевагами такого УБП є висока ефективність і простота схемних рішень.

Для уникання зазначеним недолікам використовують схему УБП класу on-line, яка будується за принципом подвійного перетворення енергії (рис. 28).

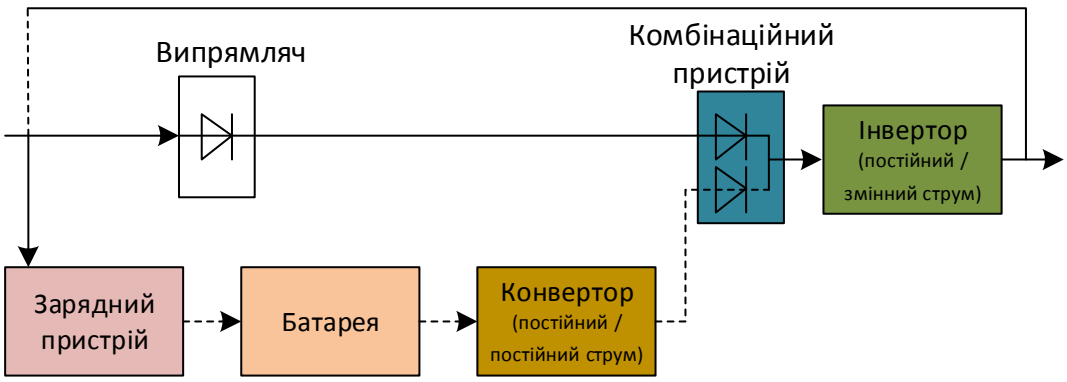

Рисунок 28 – Функціональна схема
пристрою безперебійного живлення класу on-line

Вхідна напруга через фільтруючі елементи надходить на випрямляч, потім на інвертор і далі – на навантаження. На вході і виході цієї схеми можуть використовуватись трансформаторні розв'язки. АКБ підключається до інвертора, і в разі втрати напруги вхідної мережі навантаження без розриву перемикається на живлення від АКБ. У разі порушення роботи будь-якого з елементів вхідна напруга безпосередньо комутується на навантаження (режим by-pass).

Дана технологія має свої недоліки: зниження ресурсу АКБ, відносно низький ККД, обмежені динамічні і перевантажувальні можливості.

Однак незаперечними перевагами ПБЖ on-line є: відсутність обриву кривої вихідної напруги при переході на резервне джерело; синусоїдальність форм вихідної напруги при будь-якому режимі роботи; кращі, у порівнянні з іншими ПБЖ, стабілізаційні та завадоподавляючі характеристики. Тому вони все частіше використовуються для забезпечення безперебійного електропостачання файлових серверів, телекомунікаційних систем, в автоматизованих системах управління критично важливими технологічними комплексами, до яких відносяться і системи ЕЦ тощо.

ПБЖ класу line-interactive – це різноманітні гібриди on-line і off-line-систем. Їх об'єднує те, що, будучи за своєю природою автономними системами, вони забезпечують навантаження в тій чи іншій мірі стабілізованою напругою при живленні від мережі.

Всі ці особливості необхідно враховувати при проектуванні та реалізації нових мікропроцесорних централізацій.

ВИСНОВКИ

У роботі вирішується важлива науково-практична проблема підвищення безпеки європейських і вітчизняних мікропроцесорних систем управління поїздами при їх спільному використанні, а також оцінки безпеки систем відповідно до технічних умов інтероперабельності.

Системи управління поїздами на залізницях України, здебільшого, морально і фізично застаріли, ступінь зношеності основних технічних засобів на дорогах становить понад 80%. Це обумовлює потребу у заміні застарілих систем на нові мікроелектронні та комп'ютерні системи управління з використанням сучасних інформаційно-управляючих технологій.

Інтеграція залізниць України у загальноєвропейську транспортну систему висуває вимоги до гармонізації організаційних заходів та технічних рішень для безперешкодного швидкого та безпечного переміщення вантажів і пасажирів до місця призначення на міждержавному просторі.

Реорганізація залізниць Екраїни має відбуватися з урахуванням обов'язкових директив та технічних специфікацій інтероперабельності у сфері залізничного транспорту, прийнятих у Європейському Союзі.

Системи управління поїздами в Україні повинні будуватися відповідно до розробленої в Європі системи ERTMS/ETCS на перегоні і мікропроцесорних систем управління рухом на станціях.

Системи ERTMS і МПЦ на перших етапах впровадження плануються до використання з національними колійними пристроями СЦБ: рейковими колами, стрілочними переводами, світлофорами.

Використання мікроелектронних і комп'ютерних систем управління поїздами підвищує актуальність проблеми забезпечення їх функціональної безпеки, що особливо актуально на першому етапі впровадження, оскільки при поетапному введенні в експлуатацію нових систем вони будуть функціонувати паралельно зі старими пристроями СЦБ.

Впроваджені в Україні в останні роки системи МПЦ розробляються без урахування їх зв’язку з європейськими системами.

Функціональна безпека систем управління поїздами відповідно до європейських нормативних документів (Директиви, TSI) і національних нормативних документів повинна бути забезпечена впродовж усього життєвого циклу системи від розробки концепції та проектування до виведення з експлуатації та утилізації.

Розроблено рішення по ув’язці європейської системи управління рухом поїздів ERTMS з мікропроцесорною системою централізації Ebilock-950.

Проведено аналіз безпеки спільного використання європейської системи управління рухом поїздів ERTMS з мікропроцесорною централізацією Ebilock-950.

Оцінено показники надійності (безпеки і безвідмовності) резервованих безпечних структур.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Пилотный проект европейской системы управления движением поездов в Германии // Железные дороги мира, 2009, № 5.
2. CENELEC EN 50129: Railway Application - Safety-related Electronic Systems for Signaling. 2000. Применения на железнодорожном транспорте - Электронные системы железнодорожного управления и защиты, связанные с безопасностью.
3. DBAG: Information about critical requirements for locomotives in European approval-procedures. 2009.-17 S.
4. Європейська комісія. Офіційний сайт. Режим доступу: https://ec.europa.eu/info/index_en
5. Європейське залізничне агентство. Офіційний сайт. Режим доступу: https://www.era.europa.eu/
6. Рада Європи. Офіційний сайт Режим доступу: https://www.coe.int/en/web/portal/home
7. White Paper on transport. [Електронний документ] Режим доступу: https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_en.pdf
8. White Paper. European transport policy for 2010: time to decide. Brussels, 12.9.2001 COM (2001) 370 final [Електронний документ] Режим доступу: https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/themes/strategies/doc/2001_white_paper/lb_com_2001_0370_en.pdf
9. Existing Command - Control systems in Europe. Workshop on ETCS mode "Limited Supervision" 30.6.04. UIC, Paris, 2008.-7 P.
10. Бергер Р. Координация внедрения системы ETCS на европейской сети // Железные дороги мира - 2005, № 10, с. 57-61.
11. Берндт Т., Власенко С. В. Унификация железнодорожного комплекса в Европе // Железные дороги мира, 2007, № 3, с. 16-20.

12. Бойник А.Б. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах / А.Б. Бойник, С.В. Кошевой, С.В. Панченко, В.А Сотник. – Харьков: УкрГАЖТ, 2005. – 256 с
13. Гавзов Д.В. Методы определения норм надежности микропроцессорных систем автоматики и телемеханики: Микропроцессорные системы на железнодорожном транспорте.Л.: ЛИИЖТ,1991.с. 15-19.
14. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2021 році. – 122 с.
15. Кірпа Г.М. Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему: моногр. / Г.М. Кірпа. – Д.: ДНУЗТ, 2003. – 267 с.
16. Кірпа Г.М. Залізниці світу у XXI столітті:: моногр. / За заг. ред. Г.М. Кірпи. – Д.: ДНУЗТ, 2004. – 224 с.
17. Крамаренко Е. Р. Системы сбора информации на железнодорожном транспорте. Курс лекций / Е. Р. Крамаренко - Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010. - 145 с. (с. 28 - 40).
18. Лекута Г. Ф. Микропроцессорная централизация на железных дорогах России // Железные дороги мира, 2009, № 5.
19. Мойсеєнко В.І. Мікропроцесорні системи залізничної автоматики. Частина 1. Централізація стрілок і сигналів. - Харків: ХФВ “Транспорт України” , 1999. - 148 с.
20. Правила технічної експлуатації залізниць України. - К: Транспорт України, 1995.
21. Сапожников Вл.В., Елкин Б.Н., Кокурин И.М. Станционные системы автоматики и телемеханики: Учеб. для вузов ж.- д. трансп. - М.:Транспорт, 2010. - 432 с.
22. Сапожников Вл.В. и др. Микропроцессорные системы централизации: Учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. - М.:ГОУ “Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте”, 2008. - 398 с.

23. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Талалаев В.И. и др. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики.-М.: Транспорт, 2007. - 288 с.
24. Сапожников В.В., Сапожников Вл. В. , Шаманов В. И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи :Учебное пособие для вузов ж.д. трансп. - М.: Маршрут,2009. - 263 с.
25. Сапожников В.В. , Кравцов Ю.А., Сапожников Вл. В. Дискретные устройства железнодорожной автоматики и связи. - М. : Транспорт, 1988. - 255 с.
26. Сапожников В.В. , Кравцов Ю.А., Сапожников Вл. В. Дискретные устройства железнодорожной автоматики и связи. - М. : Транспорт, 1988. - 255 с.
27. Сапожников В.В., Сапожников Вл. В., Талалаев В. И., Гавзов Д. В., Наседкин О. А. Сертификация на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт, 2007. - 288 с.
28. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. О понятии опасного отказа в микропроцессорных системах. Автоматика, телемеханика и связь.-1989.- N7. -С.22-25.
29. Сапожников Вл.В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики. -М.: Транспорт, 2005. - 270 с.
30. Системы централизации будущего // Железные дороги мира. - 2003. - №3. - С. 57-65.

СПИСОК ЗОБРАЖЕНЬ

Рисунок 1 – Діаграма стану пристроїв СЦБ на дорогах станом на 01.01.2022 .. 10
Рисунок 2 – Схема розподілу транспортних подій за причинами 11
Рисунок 3 – Діаграма транспортних подій на залізницях України..... 13
Рисунок 4 – Схема транспортних подій за професіями у 2021 році 13
Рисунок 5 – Діаграма розподілу транспортних подій за вислугою років працівників у 2021 році 14
Рисунок 6 – Транс'європейська транспортна мережа (TEN-T) із включеними маршрутами на території України 23
Рисунок 7 – Транспондер Тип 2..... 33
Рисунок 8 – Транспондер Тип 3..... 33
Рисунок 9 – Дисплей DMI 36
Рисунок 10 – Перша ступінь оснащення ETCS (Рівень 1) 37
Рисунок 11 – Друга ступінь оснащення ETCS (Рівень 2) 39
Рисунок 12 – Третя ступінь оснащення ETCS (Рівень 3)..... 40
Рисунок 13 – Структурна схема МПЦ Ebi1ock-950..... 46
Рисунок 14 – Лінія Ютербог – Галле/Лейпциг..... 54
Рисунок 15 – Структура зв'язку системи ETCS рівня 2 з МПЦ 55
Рисунок 16 – Автоматична локомотивна сигналізація безперервного типу..... 57
Рисунок 17 – Числові коди, які генеруються колійними трансмітерами КПТШ-5 та КПТШ-7. 58
Рисунок 18 – Частина схеми ув’язки МПЦ Ebilock-950 з кодовим АБ..... 58
Рисунок 19 – Узагальнена структурна схема ТРК..... 60
Рисунок 20 – Відмови пристроїв ЕЦ на дорогах Укрзалізниці 63
Рисунок 21 – Графік співвідношення безпеки систем «два з трьох» з реконфігурацією і двоканальної (співвідношення ймовірностей безпеки) 70
Рисунок 22 – Графік коефіцієнта безпеки систем «два з трьох» і «два з трьох» з реконфігурацією (співвідношення ймовірностей безпеки) 71

Рисунок 23 – Порівняльний графік залежності ймовірності безвідмовності від інтенсивності відмов для різних систем 74
Рисунок 24 – Порівняльний графік залежності ймовірності безпеки від інтенсивності відмов для різних систем 75
Рисунок 25 – Структура системи резервування «три з трьох» 76
Рисунок 26 – Структура системи резервування «два з трьох» 76
Рисунок 27 – Функціональна схема пристрою безперебійного живлення класу off-line 80
Рисунок 28 – Функціональна схема пристрою безперебійного живлення класу on-line 81

СПИСОК ТАБЛИЦЬ

Таблиця I – Динаміка зносу пристроїв СЦБ на залізницях України 11
Таблиця II – Розподіл транспортних подій за причинами 12
Таблиця III – Перелік обов'язкових TSI, що визначають функції, структуру та безпеку систем управління поїздами 30
Таблиця IV – Статистика відмов АЛСН, повторених там же на залізницях України за 2019/2020 роки 59
Таблиця V – Показники надійності об’єктів ЕЦ 64
Таблиця VI – Стани системи «два з двох» залежно від стану каналів 65
Таблиця VII – Стани системи «два з трьох» залежно від стану каналів 67
Таблиця VIII – Стани системи «два з трьох» з реконфігурацією залежно від стану каналів 69
Таблиця IX – Показники безвідмовності та безпеки основних структур 72
Таблиця X – Стани системи «три з трьох» залежно від стану каналів 73

ДОДАТКИ

АНОТАЦІЯ ТА КЛЮЧОВІ СЛОВА

Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів основної частини і висновків. Загальний обсяг тексту становить 93 сторінки: основний текст – 84 сторінки, бібліографія, яка включає 30 назв – 3 сторінки, 28 рисунків, 10 таблиць.

Метою роботи є розробка рішень по ув'язці європейської системи управління рухом поїздів ERTMS / ETCS з мікропроцесорною централізацією Ebilock-950, а також оцінка безпеки системи відповідно до технічних умов інтероперабельності (TSI) для спільного використання на Укрзалізниці.

Проаналізовано технічний стан пристроїв СЦБ на залізницях України та безпеку спільного використання європейської системи управління рухом поїздів ERTMS з мікропроцесорною централізацією.

Проведено ув'язку мікропроцесорної централізації, яка експлуатується на залізницях України з європейською системою управління рухом поїздів ERTMS/ETCS.

Оцінено показники надійності (безпеки та безвідмовності) резервованих безпечних структур

Ключові слова: Мікропроцесорна централізація, ERTMS, ETCS, надійність, безпека.

ABSTRACT AND KEYWORDS

Master's thesis consists of introduction, 5 sections of the main body and conclusions. The total amount of text consists of 93 pages: the main text consists of 84 pages, bibliography, including the 30 names consists of 3 pages, 28 drawings and 10 tables.

The aim of the paper is to develop solutions to link the European ERTMS / ETCS train control system with microprocessor centralization Ebilock 950, as well as system safety assessment in accordance with the technical specifications of interoperability (TSI) for sharing on the Ukrainian railways.

The paper analyzes the technical condition of SCB devices on the railways of Ukraine also sharing the European security system of trains of microprocessor centralization.

Made harmonization microprocessor centralization, which is operated on the railways of Ukraine with the European train control system ERTMS / ETCS.

Assess the reliability indices (security and reliability) redundant security structure.

Keywords: microprocessor centralization, ERTMS, ETCS, reliability, security.