

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

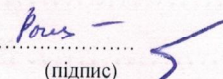
Навчально-науковий інститут транспорту та будівництва  
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до кваліфікаційної роботи  
освітнього ступеня магістр

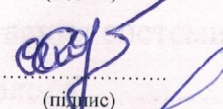
галузі знань 27 – «Транспорт»  
спеціальності 275 Транспортні технології (за видами)  
спеціалізації 275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

на тему: «Підвищення ефективності роботи системи управління рухом поїзда»

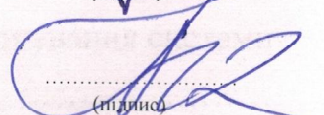
Виконав: здобувач вищої освіти групи ОПЗТ-19зм  
Рищенко І.І.

  
.....  
(підпис)

Керівник: доц. Сорока С.І.

  
.....  
(підпис)

Завідувач кафедри: проф. Чернецька-Білецька Н.Б.

  
.....  
(підпис)

Рецензент: *Разумцев А.К.*

.....  
(підпис)

Одним з головних цільових орієнтирів розвитку автоматизованих систем управління і контролю руху поїздів є зниження аварійності, ризиків і загроз безпеці транспорту. Першорядне значення при цьому надається швидкому оновленню виробничого апарату шляхом широкого впровадження передової техніки, найбільш прогресивних технологічних процесів.

Підвищення рівня експлуатації пов'язано з розвитком систем управління рухом поїздів.

Системи управління рухом поїздів забезпечують оптимальне управління послідовністю основних і допоміжних процесів при організації перевезень. В системах управління рухом поїздів процеси ініціюються зовнішніми факторами, такими, як графік руху поїздів, реагування на виникнення потреби в перевезеннях, точність прицільного гальмування і т.д. Під прицільним гальмуванням розуміється як виконання швидкісних обмежень в фіксованих точках шляху під контролем системи забезпечення безпеки руху, так і зупинка поїзда на станції і в оборотних тупиках з необхідною точністю [18, 19].

На станціях актуальна задача використання автоматизованих систем на всіх рівнях управління станцією, що викликано високими вимогами до точності виконання графіка руху і точності зупинки в умовах значної інтенсивності руху.

Управління рухом поїздів здійснюється з використанням автоматизованої системи управління рухом поїздів (АСУРП), що відноситься до класу автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУТП) [1, 2]. Основним призначенням АСУРП є вдосконалення управління перевізним процесом при виконанні заданого обсягу перевезень з урахуванням безумовного забезпечення вимог безпеки та комфорту пасажирів [1, 2].

АСУРП складається з системи автоведення поїздів (САВП), системи інтервального регулювання рухом поїздів (СІРРП) і системи диспетчерського управління (СДУ) [1, 2]. СІРРП призначена для забезпечення високої пропускної і провізної здатності, безпеки руху поїздів, а також підвищення продуктивності праці. До цієї системи відносяться автоблокування і система

автоматичного регулювання швидкості (АРШ) [1, 4]. САВП призначена для автоматизації процесу управління веденням поїзда, включаючи відправлення поїздів зі станцій, визначення часу ходу по перегонам, пуск і розгін поїзда, вибір режимів ведення поїзда на перегонах з метою виконання заданих часів ходу по перегонах, пригальмовування при виконанні обмежень швидкості, прицільне гальмування у платформ, надання інформації машиністу і диспетчеру про параметри руху поїздів [1-4].

Автоматизована система управління рухом поїздів в цілому повинна забезпечувати: автоматичне керування нормальним та допоміжним режимами руху і гальмування рухомого складу, відкриттям-закриттям дверей, видачою мовних повідомлень; безпека руху при будь-яких відмовах в системі і будь-якому поїзному і дорожньому обладнанні, а також при неправильних діях операторів і обслуговуючого персоналу; ритмічний рух поїздів у часі за рахунок централізованого управління; високу пропускну здатність ліній за рахунок оптимізації режимів ведення поїздів по перегонах, часу стоянки поїздів на станціях, підвищеної точності і інтенсивності гальмування, наявності інформації про поїзну обстановку на всій лінії; зведення функцій машиніста до контролю за апаратурою і зовнішніми умовами, з можливістю роботи поїзних пристроїв системи в повністю автономному режимі; оптимальна витрата електроенергії за рахунок автоматизації процесу ведення поїздів по перегонах, що виключає зайві пригальмовування і підключення тяги в піковий час; безперервний автоматичний контроль поїзної обстановки, технічного стану пристроїв і відображення інформації для операторів системи; обмін інформацією з іншими системами управління технологічними процесами; розширення і нарощування виконуваних системою функцій без зміни її структури; обмін інформацією між поїздом (составом) і станцією поблизу платформи і під час стоянки; обмін інформацією по радіоканалу при русі; індикацію, зберігання, протоколювання подій і даних в зручній формі на автоматизованих робочих місцях [9-12].

За рівнем централізації САВП прийнято класифікувати як централізовані (ЦСАВП) і автономні (АСАВП). Централізовані системи є ієрархічними і виконуються, як правило, трирівневими: центральний пост управління (ЦПУ), станційні пристрої (СП), поїзні пристрою (ПП) [1, 2].

За алгоритмам управління ЦСАВП діляться на графікові, інтервальні і графіково-інтервальні. При використанні графікових алгоритмів зміна тривалості стоянки визначається відхиленням часу прибуття поїзда від планового; зміна часу ходу - відхиленням часу відправлення поїзда від планового. Тривалість стоянки і час ходу обмежені. Застосування інтервальних алгоритмів дозволяє змінювати тривалість стоянки поїзда при неузгодженості планового і фактичного часу прибуття поїзда на станцію; змінювати час ходу при неузгодженості планового і фактичного часу відправлення. Інтервальні алгоритми дозволяють по заданому інтервалу руху «будувати» плановий графік, який, однак, строго не прив'язаний до часу, що не узгоджується з традиційним управлінням рухом. При використанні графікових-інтервальних алгоритмів з'являється можливість більш гнучко управляти рухом поїздів [1, 2].

Класифікація систем автоведення поїздів метрополітену представлена на рисунку 1.1.

Автономні САВП відповідно до заданої програми руху здійснюють управління тільки одним поїздом. При цьому взаємодія поїздів визначається системою інтервального регулювання, а компенсація збурень (наприклад, обурення, викликані рухом повітряних мас і зміною температури навколишнього середовища, вносять додаткові похибки в визначення питомого основного опору руху [19]) реалізується системою автоматичного управління кожного поїзда незалежно від розташування інших поїздів на лінії і визначається законами управління, наявністю ресурсів регулювання і обмеженнями, що накладаються системами безпеки [1, 2].

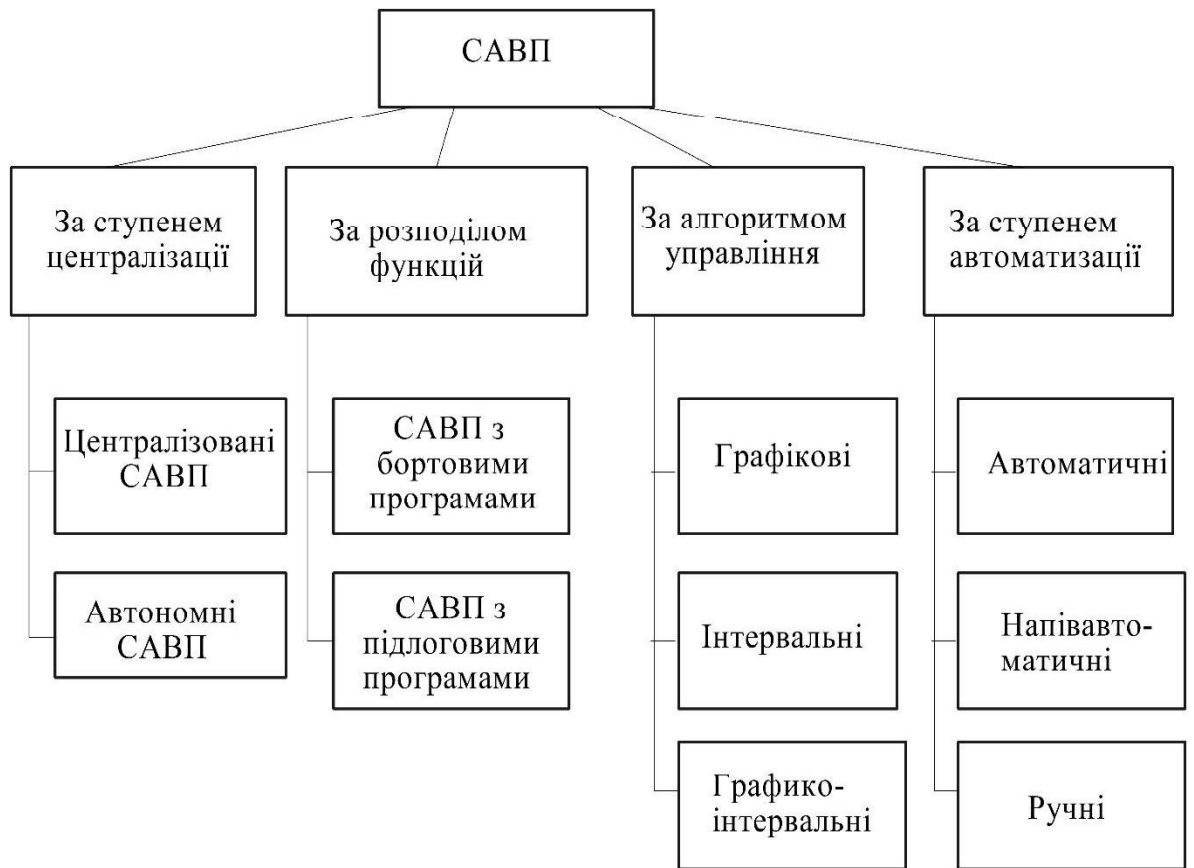


Рис. 1.1 Класифікація систем автоведення поїздів

Централізована система володіє великими можливостями, тому що наявність інформації про стан усіх поїздів на лінії дозволяє більш гнучко компенсувати різні відхилення від графіка руху. Централізовані системи автоведення складаються з двох функціональних контурів управління: верхнього і нижнього. Верхній функціональний контур контролює поїзну ситуацію і здійснює розрахунок тривалості стоянок і часів ходу по перегонам для всіх поїздів лінії метрополітену. Нижній контур управління забезпечує виконання розрахованих верхнім контуром тривалостей стоянок поїздів на станціях і часів ходу по перегонах. Принципам розробки алгоритмів нижнього рівня для умов метрополітену присвячені роботи вчених МІІТа, ЛШЖТ, Гіпротрансигнальсв'язок, НДІ ТМ, виконані в співдружності з працівниками Московського, Санкт-Петербурзького і Харківського метрополітенів. У цих роботах було розглянуто безліч алгоритмів управління, проведена

класифікація систем автоведення для нижнього функціонального рівня за різними ознаками [1-4].

Роботи по автоматизації управління рухом поїздів почалась в СРСР на початку 60-х років минулого століття. Перші випробування системи АУДП проводилися на Кільцевій лінії в Москві. Так, з 1962 рока випробувались системи автоматичного управління модифіковані САУ-М (з автоблокуванням), яким були притаманні такі особливості: вони мали низьку надійність, високу вартість, складність пристроїв. З 1968 року - програмно-модулююча система автоматичного управління рухом поїздів САУ ПМ, або система "автомашиніст", в якій була відсутня АРШ і мала місце низька точність прицільного гальмування.

В даний час фахівці НДІ ТМ працюють над подальшим вдосконаленням систем, які йдуть в напрямку реалізації концепції СВТС і управління рухом поїзда в режимі «без машиніста».

Удосконалення систем управління і контролю руху поїздів пов'язано також з рішенням і інших проблем.

По-перше, існує проблема прив'язки поїзда до шляху. При цьому вельми актуальна задача підвищення точності вимірювання швидкості і пройденого шляху з урахуванням зносу поверхні кочення колісних пар і прослизання коліс в кривих. До теперішнього часу недостатня точність вимірювання швидкості і пройденого шляху обмежувала розвиток систем управління.

По-друге, важливим завданням для забезпечення безпеки руху, а також підвищення пропускну здатності є визначення поточної координати поїзда. Підвищення точності прив'язки до шляху при виявленні дефектів діагностичними комплексами забезпечить зниження часу на їх локалізацію і, відповідно, зниження витрат. Застосовувана контактна система пікетів для прив'язки до шляху діагностичних комплексів є ненадійною через можливість виходу з ладу механічних елементів, наприклад, при високих швидкостях руху складу або при наявності снігового покриву на шляхах при виїзді складу з депо.

По-третє, досить актуальною проблемою є проблема точного обліку пробігу вагонів. На залізничному транспорті це завдання вирішує реалізацію автоматичного зчитування інформації з рухомих локомотивів і вагонів. У Білорусії зараз впроваджується система автоматичної ідентифікації рухомого складу (CAI ПС) [14, 15]. Автоматизувати отримання достовірної інформації про те, де знаходиться склад в той чи інший момент часу (з виключенням процедур ручного збору даних) стало можливо за допомогою систем радіочастотної ідентифікації (RFID).

Основні принципи роботи CAI ПС наступні. Рухомий склад обладнується кодовими бортовими датчиками КБД-2М, що несуть інформацію про кожну рухому одиницю. Уздовж залізничної колії, в опорних точках на трасі (на вході і виході зі станції, депо) встановлюються пункти зчитування, при проходженні яких автоматично зчитується інформація з датчиків. Отримана інформація передається на концентратор лінійного рівня, що здійснює збір з усіх пунктів зчитування даного залізничного вузла. Після попередньої обробки дані надходять в концентратор дорожнього рівня. Концентратор дорожнього рівня формує кінцеве повідомлення, що містить ідентифікаційні дані рухомих одиниць (8-значний код рухомого засобу, код країни і власника), код станції і код пункту зчитування, напрямок проходження і час проходження, а також перелік рухливих одиниць у складі поїзда.

CAI ПС знайшли застосування при перетині рухомим складом державних кордонів країн СНД, Латвії, Литви та Естонії. Використовуючи засоби CAI ПС, можна автоматизувати фіксування моментів прибуття і відправлення поїздів на МСП і зчитування номерів вагонів, локомотивів і контейнерів. Це дозволяє звільнити персонал станції від систематичного спостереження за рухомими об'єктами що проходять і візуального зчитування їх номерів, підвищує об'єктивність інформації, що надходить.

Розглянуті системи знайшли застосування на залізницях. Розробка системи для забезпечення високої точності контролю фактичного пробігу

вагонів також є актуальним завданням. Наявність достовірної оперативної інформації про пробіг дозволить скоротити потребу в вагонах для перевезення, перейти на організацію їх ремонту за фактичним пробігом, істотно зменшити чисельність персоналу, що виконує операції, пов'язані з отриманням і обробкою інформації, перейти на безпаперову систему управління.

## **1.2 Аналіз систем управління і контролю руху поїздів за кордоном**

За кордоном досить активно впроваджуються системи руху «без машиніста». Більшість проектів нових і реконструйованих ліній метро в світі реалізуються з використанням телекомунікаційних технологій, що дозволяють перейти на режим автоведення і при відносно невеликих витратах на реалізацію системи автоведення як в автономному режимі, так і в комплексному варіанті, забезпечується економія енергоресурсів.

Зарубіжні системи автоматичного контролю потягу (Automatic TrainControl - АТС), керуючі та контролюючі рух, складаються з двох систем: автоматичне керування поїздом (Automatic Train Operation - АТО) і автоматичне блокування (Automatic Train Protection - АТР). У метрополітенах Берліна, Лондона, Копенгагена, Парижа, Мадрида і ін. впроваджені різні системи автоматичного управління рухом поїздів АТО [72-74].

Фактично термін АТО використовують стосовно технічних засобів різного ступеня автоматизації. Базовий рівень АТУ має на увазі управління рухом поїзда між станціями із зупинкою на перегоні, якщо цього вимагає система сигналізації, під наглядом машиніста - напівавтоматичного ведення поїзда (Semi- Automatic Train Operation - STO). При роботі в режимі STO забезпечується автоматичне керування тяговими двигунами і гальмами, завдяки чому досягається більш рівномірний хід поїзда з оптимізацією енергоспоживання і пропускної здатності.

Більш складні системи, побудовані на основі базового рівня функціональності АТО, можуть додатково управляти відкриванням і



закриванням дверей, роблячи можливим ведення поїзда без машиніста в кабіні управління. Цей режим називається Driverless Train Operation - DTO. При роботі в цьому режимі пред'являються підвищені вимоги до системи сигналізації.

Наступним рівнем автоматизації є Unattended Train Operation - UTO. Режим UTO може використовуватися в широкому діапазоні технологічних операцій: від переміщення порожніх составів до автоматичного управління рухом поїздів в пасажирському сполученні при повній відсутності локомотивної бригади на борту. Цей режим вимагає наявності можливості дистанційного керування поїздом при виникненні будь-якої відмови або, як мінімум, доставки персоналу до складу в найкоротший час. У режимі UTO необхідні особливі заходи безпеки для виключення виникнення перешкод на шляху проходження або використання засобів виявлення перешкод [35 - 37].

Системи другого - четвертого рівнів виконані на базі сучасного апаратно-програмного забезпечення. Вони відрізняються алгоритмами використання бортової апаратури безпеки і автоведення при її несправності.

Істотний «плюс» систем четвертого рівня - розширення можливостей оперативного управління графіком руху, в тому числі при збоях, введенні-виведенні рухомого складу на лінію і з лінії. Фактично диспетчеру надається вільне управління, оскільки при організації руху не треба враховувати графік роботи машиністів.

При порівнянні «автоматичних» ліній європейських метрополітенів з «неавтоматичними» по таким умовним критеріям, як регулярність і надійність руху, експлуатаційна готовність і надійність обладнання, відзначено перевагу «автоматичних» ліній.

Повна автоматизація управління поїздами вперше була введена на рубежі 1980-х і 1990-х років у Франції, в метрополітені міста Лілль. Метрополітен був обраний для реалізації цієї системи виходячи з того, що поїзд метро повністю ізольований від впливу погоди, від можливого бажання водія змінити напрямок руху, від ризику зіткнення із зустрічним або

бажаючим зробити обгін транспортним засобом і т.д. система автоматичного управління рухом поїздів Лілльського метро керує всім процесом руху - від пуску до повної зупинки. Метрополітен в Ліллі функціонує 20 год на добу з інтервалом руху поїздів 90 с в години пік і 4 хв під в непіковий час. Міжнародним Союзом Громадської Транспорту були проведені дослідження, які показали, що в порівнянні з іншими зарубіжними метрополітенами Лілльський має найбільш високий відсоток дотримання графіка руху при найменшому інтервалі між поїздами [36, 38].

Управління рухом здійснюється з диспетчерського пункту, Гдень спеціальному табло висвічується поїзне положення на ділянках. Крім того, є автоматизовані системи інформації пасажирів, що дозволяють вести постійний контроль за обстановкою на станціях. Останні обладнані переговорними пристроями для зв'язку пасажира з диспетчером.

Важливу роль в забезпеченні безпеки пасажирів грають платформні двері. Вони утворюють бар'єр між платформою і шляхом і відкриваються синхронно з дверима поїзда.

Опитування пасажирів, що користуються лілльським метрополітеном, показав, що відсутність машиністів і незначне число обслуговуючого персоналу не є психологічною перешкодою для користування метрополітеном [78, 79].

Метро в Нюрнберзі - перше метро в світі, яке в 2008 році було переведено в поточному режимі експлуатації з звичайного режиму експлуатації на автоматичний, і на початковому етапі на окремій ділянці використовується загальна ділянка траси в режимі експлуатації поїздів без машиніста і з машиністом.

При реалізації проекту RUBIN (реалізація автоматизованої системи метро в Нюрнберзі) складність полягала в тому, щоб максимально зберегти наявні технічні системи та пов'язані з цим методи процесу експлуатації при переводі в автоматичний режим.

Головний компонент лінії U3 в Нюрнберзі - це система автоматичного контролю потягу АТС (Automatic Train Control), що управляє і контролює рух, розроблена концерном Siemens. Головна особливість: система працює за принципом "два з трьох". Це означає, що якщо один комп'ютер вийде з ладу, два інших будуть передавати надійні дані, дублюючи одне одного. Якщо з ладу вийде два комп'ютери, поїзд повинен бути зупинений.

Зв'язок між лінією і постом управління здійснюється по прокладеному вздовж рейок лінійному проводу. На центральному посту управління здійснюється постійний контроль роботи лінії, при необхідності в неї можна втрутитися. Система високочастотних приймачів і передавачів з тісними зв'язками, розташованих трохи нижче кромки платформи, попереджає про попадання на рейки сторонніх предметів і зупиняє поїзда, що під'їжджають, якщо на рейках виявляються небезпечні перешкоди. Чутливі інфрачервоні датчики в дверях запобігають рух поїзда навіть в тому випадку, якщо між дверима всього лише застрягло пальто. Особливу увагу приділено налаштування системи захисту платформ наземних станцій, щоб вона не зупиняла рух поїздів, якщо на рейки, наприклад, ненадовго сяде голуб. Кожні 4 мс робиться знімок платформи.

Аналогічні проекти впроваджуються в Гельсінкі, Парижі та Гонконзі.

Повністю автоматизовані системи управління рухом поїздів реалізовані на окремих лініях метрополітенів Ванкувера, Марселя, Ліона, Саппоро, Мехіко, Парижа і ін. [41-44].

### **1.3 Застосування технології безконтактної радіочастотної ідентифікації на залізницях**

Для підтримки високих параметрів економічної ефективності в розвинених країнах постійно ведеться пошук нових технічних рішень, так як рівень розвитку економіки безпосередньо пов'язаний з технологічним розвитком. Для забезпечення лідируючих позицій на ринку транспортних

послуг багато компаній прагнуть до створення умов безпечного і ефективного функціонування залізничного транспорту, до формування єдиного інформаційного простору, що в свою чергу вимагає впровадження і використання принципово нових технічних рішень. Ведуться роботи по створенню та вдосконаленню комплексів управління та забезпечення безпеки на локомотивах, включаючи розробку «інтелектуального потяга» з вбудованою системою автоведення і самодіагностики [89].

Використання бездротових технологій для передачі інформації на відстань дозволяє контролювати характеристики руху локомотива і технічний стан його основних систем в режимі реального часу.

Фірмою Siemens розроблено рішення для всіх підсистем єдиної європейської системи забезпечення безпеки руху поїздів European Train Control System - ETCS (сімейство TRAINGUARD (ТРЕЙНГВАРД)) [33]. Це як бортова і колійна підсистеми, так і канали зв'язку для обміну даними двох підсистем - Баліз (Eurobalise S21), шлейфи (Euroloop S21) і Euroradio (мережа GSM-R) з нормованими інтерфейсами і з застосуванням нормованих функцій.

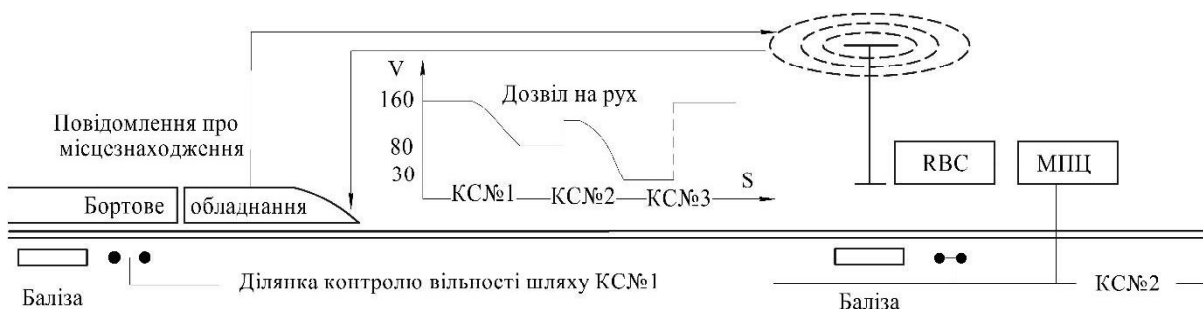
Устаткування рухомого складу складається з безпечного поїзного комп'ютера EVC; інтегрованого пристрою вимірювання шляху і швидкості (SDMU), що використовує імпульси датчика вимірювання шляху, інформацію від радара і оцінку сигналів від колійних міток (Евробалізи S21); інтегрованого модуля зв'язку з Баліз (BTM); антени для зв'язку з Баліз і шлейфами; дисплея ETCS (НМІ - Human Machine Interface, людино-машинного інтерфейсу); «Чорного ящика» - реєстратора даних, що мають юридичну силу (Juridical Recorder); цифрового пристрою введення/виводу (наприклад, включення екстреного гальмування) і блоку зв'язку з існуючими на дорозі системами АЛС.

Подорожній електронний блок S21 LEU (Lineside Electronic Unit) монтується в сигнальному ящику або в окремому корпусі і через сигнальний кабель зчитує показання сигналу. Залежно від лічених показань вибирається з

пам'яті відповідна телеграма і по кабелю посиляється на підключену до блоку LEU євробалізу S21.

Євробалізи - структурна частина системи АЛС, які забезпечують продуктивний і стандартизований обмін даними між колійним полотном і поїздом, при цьому можлива інтеграція в будь-яку систему АЛС. Євробалізи забезпечують високонадійну передачу даних при швидкостях руху поїздів до 500 км/год; економічність завдяки застосуванню сучасних технологій; мінімальний обсяг завдяки малим габаритам і вазі пристроїв; безконтактне програмування; необслуговувані компоненти; відповідність європейським нормам. Євробалізи використовують в метро Валенсії, на залізницях Німеччини і Швейцарії. В Україні євробалізи поки не застосовуються через досить високу вартість.

Характерною особливістю системи TRAINGUARD є те, що вся інформація, необхідна для забезпечення безпеки руху поїзда на певній ділянці шляху передається по радіо через центральний пост радіоблокування (RBC, Radio Block Centre). Для цього використовується цифрова система залізничного радіозв'язку GSM-R (Global System for Mobile Communication - Railways). Євробалізи S21 служать в цьому випадку тільки в якості колійних міток блок-ділянок (рисунк 1.2).



Рівень 2 ETCS. Блок-схема

Рис. 1.2 Організація системи ETCS

Підлогові сигнали в цій системі не потрібні. Але, встановлені в певних місцях (наприклад, стрілки, горловини станцій), вони дають можливість

інтеграції резервної системи. Інформація про вільність або зайнятості тих чи інших рейкових ділянок передається від RBC.

У RBC є «атлас залізниць» відповідної ділянки мережі, на якому RBC контролює безпеку руху поїздів. Залежно від встановлених маршрутів, зайнятості рейкових ділянок та місця розташування поїздів RBC видає або поновлює дозволу на рух (MA, Movement Authorities) окремим рухомих одиниць.

Бортовий комп'ютер EVC на основі переданого по системі GSM-R дозволу на рух обчислює і потім контролює виконання графіка безпечної швидкості, а також графік гальмування до наступної точки зупинки або зниження швидкості.

За рахунок застосування методу їзди «в межах електронної видимості» декількох блок-ділянок, що лежать попереду, поїзди рухаються з максимально допустимою на даній ділянці швидкістю. Через можливість рухатися поїздами один за одним незалежно від розстановки сигналів, міжпоїздні інтервали скорочуються. Пропускна здатність ділянки значно зростає.

Це особливо вигідно при будівництві нових ліній, де можливо відмовитися від більшої частини сигналів на перегонах і тим самим отримати значну економію кабелю і експлуатаційних витрат.

У 2003 році Німецькими залізницями була прийнята в дослідну експлуатацію система TRAINGUARD VC 200 Рівня 2 ETCS на ділянці Ютербог-Галле/Лейпциг. Вперше состав, який ведеться локомотивом, обладнаним бортовою апаратурою TRAINGUARD VC 200 розвинув на ділянці Ютербог-Биттерфельд швидкість 200 км/год. Ділянка двоколійна, електрифікована, має протяжність близько 154 км. За допомогою локальної обчислювальної мережі 2 поста радіоблокування з'єднані з двома мікропроцесорними централізаціями. Для здійснення радіозв'язку постів радіоблокування з поїздами через мережу GSM-R обидва RBC підключені до комутатора мобільного зв'язку MSC (Mobile Switching Centre) в Лейпцігу. На шляху встановлено близько 950 євробаліз.

Крім цього, системи сімейства TRAINGUARD працюють сьогодні на міській залізниці Берліна, на лініях Швейцарії, Австрія, Угорщина, Іспанії, Голландії. В даний час на залізниці в Стокгольмі впроваджена перша в світі регіональна система ETCS рівня 3. На відміну від ETCS рівнів 1 і 2, впроваджена система не передбачає наявності на лінії підлогових засобів контролю вільності колії. Рейкові кола використовуються тільки на переїздах і на шляхах маневрових районів на станціях. Ключовим компонентом регіональної системи ETCS є центр управління ТСС, який об'єднує в собі функції центру радіоблокування і системи централізації. При надходженні в ТСС від оператора центру або автоматизованої системи запиту на рух поїзда з однієї точки на лінії до іншої, підсистема централізації встановлює стрілки в потрібне положення і перевіряє вільність маршруту. Потім підсистема централізації резервує маршрут і відправляє в центр радіоблокування RBC повідомлення про можливість видачі поїзду дозволу на рух. RBC відправляє дозволу на рух в бортову систему поїзда по мережі радіозв'язку GSM-R. При русі поїзда бортова антена активує шляхові прийомовідповідачі, передають в бортову систему фіксовані повідомлення, на основі яких оновлюються показання поїзного пристрою вимірювання пройденого шляху [40-42].

Одним з головних цільових орієнтирів розвитку автоматизованих систем управління і контролю руху поїздів є зниження аварійності, ризиків і загроз безпеці транспорту. Першорядне значення при цьому надається швидкому оновленню виробничого апарату шляхом широкого впровадження передової техніки, найбільш прогресивних технологічних процесів.

Підвищення рівня експлуатації пов'язано з розвитком систем управління рухом поїздів.

Системи управління рухом поїздів забезпечують оптимальне управління послідовністю основних і допоміжних процесів при організації перевезень. В системах управління рухом поїздів процеси ініціюються зовнішніми факторами, такими, як графік руху поїздів, реагування на виникнення потреби в перевезеннях, точність прицільного гальмування і т.д. Під прицільним

гальмуванням розуміється як виконання швидкісних обмежень в фіксованих точках шляху під контролем системи забезпечення безпеки руху, так і зупинка поїзда на станції і в оборотних тупиках з необхідною точністю [18, 19].

На станціях актуальна задача використання автоматизованих систем на всіх рівнях управління станцією, що викликано високими вимогами до точності виконання графіка руху і точності зупинки в умовах значної інтенсивності руху.

Управління рухом поїздів здійснюється з використанням автоматизованої системи управління рухом поїздів (АСУРП), що відноситься до класу автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУТП) [1, 2]. Основним призначенням АСУРП є вдосконалення управління перевізним процесом при виконанні заданого обсягу перевезень з урахуванням безумовного забезпечення вимог безпеки та комфорту пасажирів [1, 2].

АСУРП складається з системи автоведення поїздів (САВП), системи інтервального регулювання рухом поїздів (СІРРП) і системи диспетчерського управління (СДУ) [1, 2]. СІРРП призначена для забезпечення високої пропускної і провізної здатності, безпеки руху поїздів, а також підвищення продуктивності праці. До цієї системи відносяться автоблокування і система автоматичного регулювання швидкості (АРШ) [1, 4]. САВП призначена для автоматизації процесу управління веденням поїзда, включаючи відправлення поїздів зі станцій, визначення часу ходу по перегонам, пуск і розгін поїзда, вибір режимів ведення поїзда на перегонах з метою виконання заданих часів ходу по перегонах, пригальмовування при виконанні обмежень швидкості, прицільне гальмування у платформ, надання інформації машиністу і диспетчеру про параметри руху поїздів [1-4].

Автоматизована система управління рухом поїздів в цілому повинна забезпечувати: автоматичне керування нормальним та допоміжним режимами руху і гальмування рухомого складу, відкриттям-закриттям дверей, видачою мовних повідомлень; безпека руху при будь-яких відмовах в системі і будь-якому поїзному і дорожньому обладнанні, а також при неправильних діях



операторів і обслуговуючого персоналу; ритмічний рух поїздів у часі за рахунок централізованого управління; високу пропускну здатність ліній за рахунок оптимізації режимів ведення поїздів по перегонах, часу стоянки поїздів на станціях, підвищеної точності і інтенсивності гальмування, наявності інформації про поїзну обстановку на всій лінії; зведення функцій машиніста до контролю за апаратурою і зовнішніми умовами, з можливістю роботи поїзних пристроїв системи в повністю автономному режимі; оптимальна витрата електроенергії за рахунок автоматизації процесу ведення поїздів по перегонах, що виключає зайві пригальмовування і підключення тяги в піковий час; безперервний автоматичний контроль поїзної обстановки, технічного стану пристроїв і відображення інформації для операторів системи; обмін інформацією з іншими системами управління технологічними процесами; розширення і нарощування виконуваних системою функцій без зміни її структури; обмін інформацією між поїздом (составом) і станцією поблизу платформи і під час стоянки; обмін інформацією по радіоканалу при русі; індикацію, зберігання, протоколювання подій і даних в зручній формі на автоматизованих робочих місцях [9-12].

За рівнем централізації САВП прийнято класифікувати як централізовані (ЦСАВП) і автономні (АСАВП). Централізовані системи є ієрархічними і виконуються, як правило, трирівневими: центральний пост управління (ЦПУ), станційні пристрої (СП), поїзні пристрої (ПП) [1, 2].

За алгоритмам управління ЦСАВП діляться на графікові, інтервальні і графіково-інтервальні. При використанні графікових алгоритмів зміна тривалості стоянки визначається відхиленням часу прибуття поїзда від планового; зміна часу ходу - відхиленням часу відправлення поїзда від планового. Тривалість стоянки і час ходу обмежені. Застосування інтервальних алгоритмів дозволяє змінювати тривалість стоянки поїзда при неузгодженості планового і фактичного часу прибуття поїзда на станцію; змінювати час ходу при неузгодженості планового і фактичного часу відправлення. Інтервальні алгоритми дозволяють по заданому інтервалу руху

«будувати» плановий графік, який, однак, строго не прив'язаний до часу, що не узгоджується з традиційним управлінням рухом. При використанні графікових-інтервальних алгоритмів з'являється можливість більш гнучко управляти рухом поїздів [1, 2].

Класифікація систем автоведення поїздів метрополітену представлена на рисунку 1.1.

Автономні САВП відповідно до заданої програми руху здійснюють управління тільки одним поїздом. При цьому взаємодія поїздів визначається системою інтервального регулювання, а компенсація збурень (наприклад, обурення, викликані рухом повітряних мас і зміною температури навколишнього середовища, вносять додаткові похибки в визначення питомого основного опору руху [19]) реалізується системою автоматичного управління кожного поїзда незалежно від розташування інших поїздів на лінії і визначається законами управління, наявністю ресурсів регулювання і обмеженнями, що накладаються системами безпеки [1, 2].

Централізована система володіє великими можливостями, тому що наявність інформації про стан усіх поїздів на лінії дозволяє більш гнучко компенсувати різні відхилення від графіка руху. Централізовані системи автоведення складаються з двох функціональних контурів управління: верхнього і нижнього. Верхній функціональний контур контролює поїзну ситуацію і здійснює розрахунок тривалості стоянок і часів ходу по перегонам для всіх поїздів лінії метрополітену. Нижній контур управління забезпечує виконання розрахованих верхнім контуром тривалостей стоянок поїздів на станціях і часів ходу по перегонах. Принципам розробки алгоритмів нижнього рівня для умов метрополітену присвячені роботи вчених МІІТа, ЛШЖТ, Гіпротрансигнальсв'язок, НДІ ТМ, виконані в співдружності з працівниками Московського, Санкт-Петербурзького і Харківського метрополітенів. У цих роботах було розглянуто безліч алгоритмів управління, проведена класифікація систем автоведення для нижнього функціонального рівня за різними ознаками [1-4].

Роботи по автоматизації управління рухом поїздів почалась в СРСР на початку 60-х років минулого століття. Перші випробування системи АУДП проводилися на Кільцевій лінії в Москві. Так, з 1962 року випробувались системи автоматичного управління модифіковані САУ-М (з автоблокуванням), яким були притаманні такі особливості: вони мали низьку надійність, високу вартість, складність пристроїв. З 1968 року - програмно-модулююча система автоматичного управління рухом поїздів САУ ПМ, або система "автомашиніст", в якій була відсутня АРШ і мала місце низька точність прицільного гальмування.

В даний час фахівці НДІ ТМ працюють над подальшим вдосконаленням систем, які йдуть в напрямку реалізації концепції СВТС і управління рухом поїзда в режимі «без машиніста».

Удосконалення систем управління і контролю руху поїздів пов'язано також з рішенням і інших проблем.

По-перше, існує проблема прив'язки поїзда до шляху. При цьому вельми актуальна задача підвищення точності вимірювання швидкості і пройденого шляху з урахуванням зносу поверхні кочення колісних пар і прослизання коліс в кривих. До теперішнього часу недостатня точність вимірювання швидкості і пройденого шляху обмежувала розвиток систем управління.

По-друге, важливим завданням для забезпечення безпеки руху, а також підвищення пропускної здатності є визначення поточної координати поїзда. Підвищення точності прив'язки до шляху при виявленні дефектів діагностичними комплексами забезпечить зниження часу на їх локалізацію і, відповідно, зниження витрат. Застосовувана контактна система пікетів для прив'язки до шляху діагностичних комплексів є ненадійною через можливість виходу з ладу механічних елементів, наприклад, при високих швидкостях руху складу або при наявності снігового покриву на шляхах при виїзді складу з депо.

По-третє, досить актуальною проблемою є проблема точного обліку пробігу вагонів. На залізничному транспорті це завдання вирішує реалізацію

автоматичного зчитування інформації з рухомих локомотивів і вагонів. У Білорусії зараз впроваджується система автоматичної ідентифікації рухомого складу (CAI ПС) [14, 15]. Автоматизувати отримання достовірної інформації про те, де знаходиться склад в той чи інший момент часу (з виключенням процедур ручного збору даних) стало можливо за допомогою систем радіочастотної ідентифікації (RFID).

Основні принципи роботи CAI ПС наступні. Рухомий склад обладнується кодовими бортовими датчиками КБД-2М, що несуть інформацію про кожну рухому одиницю. Уздовж залізничної колії, в опорних точках на трасі (на вході і виході зі станції, депо) встановлюються пункти зчитування, при проходженні яких автоматично зчитується інформація з датчиків. Отримана інформація передається на концентратор лінійного рівня, що здійснює збір з усіх пунктів зчитування даного залізничного вузла. Після попередньої обробки дані надходять в концентратор дорожнього рівня. Концентратор дорожнього рівня формує кінцеве повідомлення, що містить ідентифікаційні дані рухомих одиниць (8-значний код рухомого засобу, код країни і власника), код станції і код пункту зчитування, напрямок проходження і час проходження, а також перелік рухливих одиниць у складі поїзда.

CAI ПС знайшли застосування при перетині рухомим складом державних кордонів країн СНД, Латвії, Литви та Естонії. Використовуючи засоби CAI ПС, можна автоматизувати фіксування моментів прибуття і відправлення поїздів на МСП і зчитування номерів вагонів, локомотивів і контейнерів. Це дозволяє звільнити персонал станції від систематичного спостереження за рухомими об'єктами що проходять і візуального зчитування їх номерів, підвищує об'єктивність інформації, що надходить.

Розглянуті системи знайшли застосування на залізницях. Розробка системи для забезпечення високої точності контролю фактичного пробігу вагонів також є актуальним завданням. Наявність достовірної оперативної інформації про пробіг дозволить скоротити потребу в вагонах для перевезення,

перейти на організацію їх ремонту за фактичним пробігом, істотно зменшити чисельність персоналу, що виконує операції, пов'язані з отриманням і обробкою інформації, перейти на безпаперову систему управління.

За кордоном досить активно впроваджуються системи руху «без машиніста». Більшість проектів нових і реконструйованих ліній метро в світі реалізуються з використанням телекомунікаційних технологій, що дозволяють перейти на режим автоведення і при відносно невеликих витратах на реалізацію системи автоведення як в автономному режимі, так і в комплексному варіанті, забезпечується економія енергоресурсів.

Зарубіжні системи автоматичного контролю потягу (Automatic TrainControl - АТС), керуючі та контролюючі рух, складаються з двох систем: автоматичне керування поїздом (Automatic Train Operation - АТО) і автоматичне блокування (Automatic Train Protection - АТР). У метрополітенах Берліна, Лондона, Копенгагена, Парижа, Мадрида і ін. впроваджені різні системи автоматичного управління рухом поїздів АТО [72-74].

Фактично термін АТО використовують стосовно технічних засобів різного ступеня автоматизації. Базовий рівень АТУ має на увазі управління рухом поїзда між станціями із зупинкою на перегоні, якщо цього вимагає система сигналізації, під наглядом машиніста - напівавтоматичного ведення поїзда (Semi- Automatic Train Operation - STO). При роботі в режимі STO забезпечується автоматичне керування тяговими двигунами і гальмами, завдяки чому досягається більш рівномірний хід поїзда з оптимізацією енергоспоживання і пропускної здатності.

Більш складні системи, побудовані на основі базового рівня функціональності АТО, можуть додатково управляти відкриванням і закриванням дверей, роблячи можливим ведення поїзда без машиніста в кабіні управління. Цей режим називається Driverless Train Operation - DTO. При роботі в цьому режимі пред'являються підвищені вимоги до системи сигналізації.

Наступним рівнем автоматизації є Unattended Train Operation - UTO. Режим UTO може використовуватися в широкому діапазоні технологічних операцій: від переміщення порожніх составів до автоматичного управління рухом поїздів в пасажирському сполученні при повній відсутності локомотивної бригади на борту. Цей режим вимагає наявності можливості дистанційного керування поїздом при виникненні будь-якої відмови або, як мінімум, доставки персоналу до складу в найкоротший час. У режимі UTO необхідні особливі заходи безпеки для виключення виникнення перешкод на шляху проходження або використання засобів виявлення перешкод [35 - 37].

Системи другого - четвертого рівнів виконані на базі сучасного апаратно-програмного забезпечення. Вони відрізняються алгоритмами використання бортової апаратури безпеки і автоведення при її несправності.

Істотний «плюс» систем четвертого рівня - розширення можливостей оперативного управління графіком руху, в тому числі при збоях, введенні-виведенні рухомого складу на лінію і з лінії. Фактично диспетчеру надається вільне управління, оскільки при організації руху не треба враховувати графік роботи машиністів.

При порівнянні «автоматичних» ліній європейських метрополітенів з «неавтоматичними» по таким умовним критеріям, як регулярність і надійність руху, експлуатаційна готовність і надійність обладнання, відзначено перевагу «автоматичних» ліній.

Повна автоматизація управління поїздами вперше була введена на рубежі 1980-х і 1990-х років у Франції, в метрополітені міста Лілль. Метрополітен був обраний для реалізації цієї системи виходячи з того, що поїзд метро повністю ізольований від впливу погоди, від можливого бажання водія змінити напрямок руху, від ризику зіткнення із зустрічним або бажаним зробити обгін транспортним засобом і т.д. система автоматичного управління рухом поїздів Лілльського метро керує всім процесом руху - від пуску до повної зупинки. Метрополітен в Ліллі функціонує 20 год на добу з інтервалом руху поїздів 90 с в години пік і 4 хв під в непіковий час.

Міжнародним Союзом Громадської Транспорту були проведені дослідження, які показали, що в порівнянні з іншими зарубіжними метрополітенами Лілльський має найбільш високий відсоток дотримання графіка руху при найменшому інтервалі між поїздами [36, 38].

Управління рухом здійснюється з диспетчерського пункту, Гдень спеціальному табло висвічується поїзне положення на ділянках. Крім того, є автоматизовані системи інформації пасажирів, що дозволяють вести постійний контроль за обстановкою на станціях. Останні обладнані переговорними пристроями для зв'язку пасажирів з диспетчером.

Важливу роль в забезпеченні безпеки пасажирів грають платформні двері. Вони утворюють бар'єр між платформою і шляхом і відкриваються синхронно з дверима поїзда.

Опитування пасажирів, що користуються лілльським метрополітеном, показав, що відсутність машиністів і незначне число обслуговуючого персоналу не є психологічною перешкодою для користування метрополітеном [78, 79].

Метро в Нюрнберзі - перше метро в світі, яке в 2008 році було переведено в поточному режимі експлуатації з звичайного режиму експлуатації на автоматичний, і на початковому етапі на окремій ділянці використовується загальна ділянка траси в режимі експлуатації поїздів без машиніста і з машиністом.

При реалізації проекту RUBIN (реалізація автоматизованої системи метро в Нюрнберзі) складність полягала в тому, щоб максимально зберегти наявні технічні системи та пов'язані з цим методи процесу експлуатації при переводі в автоматичний режим.

Головний компонент лінії U3 в Нюрнберзі - це система автоматичного контролю потягу АТС (Automatic Train Control), що управляє і контролює рух, розроблена концерном Siemens. Головна особливість: система працює за принципом "два з трьох". Це означає, що якщо один комп'ютер вийде з ладу,

два інших будуть передавати надійні дані, дублюючи одне одного. Якщо з ладу вийде два комп'ютери, поїзд повинен бути зупинений.

Зв'язок між лінією і постом управління здійснюється по прокладеному вздовж рейок лінійному проводу. На центральному посту управління здійснюється постійний контроль роботи лінії, при необхідності в неї можна втрутитися. Система високочастотних приймачів і передавачів з тісними зв'язками, розташованих трохи нижче кромки платформи, попереджає про попадання на рейки сторонніх предметів і зупиняє поїзда, що під'їжджають, якщо на рейках виявляються небезпечні перешкоди. Чутливі інфрачервоні датчики в дверях запобігають рух поїзда навіть в тому випадку, якщо між дверима всього лише застрягло пальто. Особливу увагу приділено налаштування системи захисту платформ наземних станцій, щоб вона не зупиняла рух поїздів, якщо на рейки, наприклад, ненадовго сяде голуб. Кожні 4 мс робиться знімок платформи.

Аналогічні проекти впроваджуються в Гельсінкі, Парижі та Гонконзі.

Повністю автоматизовані системи управління рухом поїздів реалізовані на окремих лініях метрополітенів Ванкувера, Марселя, Ліона, Саппоро, Мехіко, Парижа і ін. [41-44].

Для підтримки високих параметрів економічної ефективності в розвинених країнах постійно ведеться пошук нових технічних рішень, так як рівень розвитку економіки безпосередньо пов'язаний з технологічним розвитком. Для забезпечення лідируючих позицій на ринку транспортних послуг багато компаній прагнуть до створення умов безпечного і ефективного функціонування залізничного транспорту, до формування єдиного інформаційного простору, що в свою чергу вимагає впровадження і використання принципово нових технічних рішень. Ведуться роботи по створенню та вдосконаленню комплексів управління та забезпечення безпеки на локомотивах, включаючи розробку «інтелектуального потяга» з вбудованою системою автоведення і самодіагностики [89].



Використання бездротових технологій для передачі інформації на відстань дозволяє контролювати характеристики руху локомотива і технічний стан його основних систем в режимі реального часу.

Фірмою Siemens розроблено рішення для всіх підсистем єдиної європейської системи забезпечення безпеки руху поїздів European Train Control System - ETCS (сімейство TRAINGUARD (ТРЕЙНГВАРД)) [33]. Це як бортова і колійна підсистеми, так і канали зв'язку для обміну даними двох підсистем - Баліз (Eurobalise S21), шлейфи (Euroloop S21) і Euroradio (мережа GSM-R) з нормованими інтерфейсами і з застосуванням нормованих функцій.

Устаткування рухомого складу складається з безпечного поїзного комп'ютера EVC; інтегрованого пристрою вимірювання шляху і швидкості (SDMU), що використовує імпульси датчика вимірювання шляху, інформацію від радара і оцінку сигналів від колійних міток (Евробалізи S21); інтегрованого модуля зв'язку з Баліз (BTM); антени для зв'язку з Баліз і шлейфами; дисплея ETCS (HMI - Human Machine Interface, людино-машинного інтерфейсу); «Чорного ящика» - реєстратора даних, що мають юридичну силу (Juridical Recorder); цифрового пристрою введення/виводу (наприклад, включення екстреного гальмування) і блоку зв'язку з існуючими на дорозі системами АЛС.

Подорожній електронний блок S21 LEU (Lineside Electronic Unit) монтується в сигнальному ящику або в окремому корпусі і через сигнальний кабель зчитує показання сигналу. Залежно від лічених показань вибирається з пам'яті відповідна телеграма і по кабелю посилається на підключену до блоку LEU євробалізу S21.

Евробалізи - структурна частина системи АЛС, які забезпечують продуктивний і стандартизований обмін даними між колійним полотном і поїздом, при цьому можлива інтеграція в будь-яку систему АЛС. Евробалізи забезпечують високонадійну передачу даних при швидкостях руху поїздів до 500 км/год; економічність завдяки застосуванню сучасних технологій; мінімальний обсяг завдяки малим габаритам і вазі пристроїв; безконтактне

програмування; необслуговувані компоненти; відповідність європейським нормам. Євробалізи використовують в метро Валенсії, на залізницях Німеччини і Швейцарії. В Україні євробалізи поки не застосовуються через досить високу вартість.

Характерною особливістю системи TRAINGUARD є те, що вся інформація, необхідна для забезпечення безпеки руху поїзда на певній ділянці шляху передається по радіо через центральний пост радіоблокування (RBC, Radio Block Centre). Для цього використовується цифрова система залізничного радіозв'язку GSM-R (Global System for Mobile Communication - Railways). Євробалізи S21 служать в цьому випадку тільки в якості колійних міток блок-ділянок (рисунок 1.2).

Підлогові сигнали в цій системі не потрібні. Але, встановлені в певних місцях (наприклад, стрілки, горловини станцій), вони дають можливість інтеграції резервної системи. Інформація про вільність або зайнятості тих чи інших рейкових ділянок передається від RBC.

У RBC є «атлас залізниць» відповідної ділянки мережі, на якому RBC контролює безпеку руху поїздів. Залежно від встановлених маршрутів, зайнятості рейкових ділянок та місця розташування поїздів RBC видає або поновлює дозволу на рух (MA, Movement Authorities) окремим рухомих одиниць.

Бортовий комп'ютер EVC на основі переданого по системі GSM-R дозволу на рух обчислює і потім контролює виконання графіка безпечної швидкості, а також графік гальмування до наступної точки зупинки або зниження швидкості.

За рахунок застосування методу їзди «в межах електронної видимості» декількох блок-ділянок, що лежать попереду, поїзди рухаються з максимально допустимою на даній ділянці швидкістю. Через можливість рухатися поїздами один за одним незалежно від розстановки сигналів, міжпоїздні інтервали скорочуються. Пропускна здатність ділянки значно зростає.

Це особливо вигідно при будівництві нових ліній, де можливо відмовитися від більшої частини сигналів на перегонах і тим самим отримати значну економію кабелю і експлуатаційних витрат.

У 2003 році Німецькими залізницями була прийнята в дослідну експлуатацію система TRAINGUARD VC 200 Рівня 2 ETCS на ділянці Ютербог-Галле/Лейпциг. Вперше состав, який ведеться локомотивом, обладнаним бортовою апаратурою TRAINGUARD VC 200 розвинув на ділянці Ютербог-Биттерфельд швидкість 200 км/год. Ділянка двоколійна, електрифікована, має протяжність близько 154 км. За допомогою локальної обчислювальної мережі 2 поста радіоблокування з'єднані з двома мікропроцесорними централізаціями. Для здійснення радіозв'язку постів радіоблокування з поїздами через мережу GSM-R обидва RBC підключені до комутатора мобільного зв'язку MSC (Mobile Switching Centre) в Лейпцігу. На шляху встановлено близько 950 євробаліз.

Крім цього, системи сімейства TRAINGUARD працюють сьогодні на міській залізниці Берліна, на лініях Швейцарії, Австрія, Угорщина, Іспанії, Голландії. В даний час на залізниці в Стокгольмі впроваджена перша в світі регіональна система ETCS рівня 3. На відміну від ETCS рівнів 1 і 2, впроваджена система не передбачає наявності на лінії підлогових засобів контролю вільності колії. Рейкові кола використовуються тільки на переїздах і на шляхах маневрових районів на станціях. Ключовим компонентом регіональної системи ETCS є центр управління ТСС, який об'єднує в собі функції центру радіоблокування і системи централізації. При надходженні в ТСС від оператора центру або автоматизованої системи запиту на рух поїзда з однієї точки на лінії до іншої, підсистема централізації встановлює стрілки в потрібне положення і перевіряє вільність маршруту. Потім підсистема централізації резервує маршрут і відправляє в центр радіоблокування RBC повідомлення про можливість видачі поїзду дозволу на рух. RBC відправляє дозволу на рух в бортову систему поїзда по мережі радіозв'язку GSM-R. При русі поїзда бортова антена активує шляхові прийомовідповідачі, передають в

бортову систему фіксовані повідомлення, на основі яких оновлюються показання поїзного пристрою вимірювання пройденого шляху [40-42].

Одним з головних цільових орієнтирів розвитку автоматизованих систем управління і контролю руху поїздів є зниження аварійності, ризиків і загроз безпеці транспорту. Першорядне значення при цьому надається швидкому оновленню виробничого апарату шляхом широкого впровадження передової техніки, найбільш прогресивних технологічних процесів.

Підвищення рівня експлуатації пов'язано з розвитком систем управління рухом поїздів.

Системи управління рухом поїздів забезпечують оптимальне управління послідовністю основних і допоміжних процесів при організації перевезень. В системах управління рухом поїздів процеси ініціюються зовнішніми факторами, такими, як графік руху поїздів, реагування на виникнення потреби в перевезеннях, точність прицільного гальмування і т.д. Під прицільним гальмуванням розуміється як виконання швидкісних обмежень в фіксованих точках шляху під контролем системи забезпечення безпеки руху, так і зупинка поїзда на станції і в оборотних тупиках з необхідною точністю [18, 19].

На станціях актуальна задача використання автоматизованих систем на всіх рівнях управління станцією, що викликано високими вимогами до точності виконання графіка руху і точності зупинки в умовах значної інтенсивності руху.

Управління рухом поїздів здійснюється з використанням автоматизованої системи управління рухом поїздів (АСУРП), що відноситься до класу автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУТП) [1, 2]. Основним призначенням АСУРП є вдосконалення управління перевізним процесом при виконанні заданого обсягу перевезень з урахуванням безумовного забезпечення вимог безпеки та комфорту пасажирів [1, 2].

АСУРП складається з системи автоведення поїздів (САВП), системи інтервального регулювання рухом поїздів (СІРРП) і системи диспетчерського управління (СДУ) [1, 2]. СІРРП призначена для забезпечення високої

пропускної і провізної здатності, безпеки руху поїздів, а також підвищення продуктивності праці. До цієї системи відносяться автоблокування і система автоматичного регулювання швидкості (АРШ) [1, 4]. САВП призначена для автоматизації процесу управління веденням поїзда, включаючи відправлення поїздів зі станцій, визначення часу ходу по перегонам, пуск і розгін поїзда, вибір режимів ведення поїзда на перегонах з метою виконання заданих часів ходу по перегонах, пригальмовування при виконанні обмежень швидкості, прицільне гальмування у платформ, надання інформації машиністу і диспетчеру про параметри руху поїздів [1-4].

Автоматизована система управління рухом поїздів в цілому повинна забезпечувати: автоматичне керування нормальним та допоміжним режимами руху і гальмування рухомого складу, відкриттям-закриттям дверей, видачою мовних повідомлень; безпека руху при будь-яких відмовах в системі і будь-якому поїзному і дорожньому обладнанні, а також при неправильних діях операторів і обслуговуючого персоналу; ритмічний рух поїздів у часі за рахунок централізованого управління; високу пропускну здатність ліній за рахунок оптимізації режимів ведення поїздів по перегонах, часу стоянки поїздів на станціях, підвищеної точності і інтенсивності гальмування, наявності інформації про поїзну обстановку на всій лінії; зведення функцій машиніста до контролю за апаратурою і зовнішніми умовами, з можливістю роботи поїзних пристроїв системи в повністю автономному режимі; оптимальна витрата електроенергії за рахунок автоматизації процесу ведення поїздів по перегонах, що виключає зайві пригальмовування і підключення тяги в піковий час; безперервний автоматичний контроль поїзної обстановки, технічного стану пристроїв і відображення інформації для операторів системи; обмін інформацією з іншими системами управління технологічними процесами; розширення і нарощування виконуваних системою функцій без зміни її структури; обмін інформацією між поїздом (составом) і станцією поблизу платформи і під час стоянки; обмін інформацією по радіоканалу при

русі; індикацію, зберігання, протоколювання подій і даних в зручній формі на автоматизованих робочих місцях [9-12].

За рівнем централізації САВП прийнято класифікувати як централізовані (ЦСАВП) і автономні (АСАВП). Централізовані системи є ієрархічними і виконуються, як правило, трирівневими: центральний пост управління (ЦПУ), станційні пристрої (СП), поїзні пристрою (ПП) [1, 2].

За алгоритмам управління ЦСАВП діляться на графікові, інтервальні і графіково-інтервальні. При використанні графікових алгоритмів зміна тривалості стоянки визначається відхиленням часу прибуття поїзда від планового; зміна часу ходу - відхиленням часу відправлення поїзда від планового. Тривалість стоянки і час ходу обмежені. Застосування інтервальних алгоритмів дозволяє змінювати тривалість стоянки поїзда при неузгодженості планового і фактичного часу прибуття поїзда на станцію; змінювати час ходу при неузгодженості планового і фактичного часу відправлення. Інтервальні алгоритми дозволяють по заданому інтервалу руху «будувати» плановий графік, який, однак, строго не прив'язаний до часу, що не узгоджується з традиційним управлінням рухом. При використанні графікових-інтервальних алгоритмів з'являється можливість більш гнучко управляти рухом поїздів [1, 2].

Класифікація систем автоведення поїздів метрополітену представлена на рисунку 1.1.

САВП відповідно до заданої програми руху здійснюють управління тільки одним поїздом. При цьому взаємодія поїздів визначається системою інтервального регулювання, а компенсація збурень (наприклад, обурення, викликані рухом повітряних мас і зміною температури навколишнього середовища, вносять додаткові похибки в визначення питомого основного опору руху [19]) реалізується системою автоматичного управління кожного поїзда незалежно від розташування інших поїздів на лінії і визначається законами управління, наявністю ресурсів регулювання і обмеженнями, що накладаються системами безпеки [1, 2].

Централізована система володіє великими можливостями, тому щонайбільше наявність інформації про стан усіх поїздів на лінії дозволяє більш гнучко компенсувати різні відхилення від графіка руху. Централізовані системи автоведення складаються з двох функціональних контурів управління: верхнього і нижнього. Верхній функціональний контур контролює поїзну ситуацію і здійснює розрахунок тривалості стоянок і часів ходу по перегонам для всіх поїздів лінії метрополітену. Нижній контур управління забезпечує виконання розрахованих верхнім контуром тривалостей стоянок поїздів на станціях і часів ходу по перегонах. Принципам розробки алгоритмів нижнього рівня для умов метрополітену присвячені роботи вчених МІТА, ЛШЖТ, Гіпротрансигнальсв'язок, НДІ ТМ, виконані в співдружності з працівниками Московського, Санкт-Петербурзького і Харківського метрополітенів. У цих роботах було розглянуто безліч алгоритмів управління, проведена класифікація систем автоведення для нижнього функціонального рівня за різними ознаками [1-4].

Роботи по автоматизації управління рухом поїздів почалась в СРСР на початку 60-х років минулого століття. Перші випробування системи АУДП проводилися на Кільцевій лінії в Москві. Так, з 1962 року випробувались системи автоматичного управління модифіковані САУ-М (з автоблокуванням), яким були притаманні такі особливості: вони мали низьку надійність, високу вартість, складність пристроїв. З 1968 року - програмно-модулююча система автоматичного управління рухом поїздів САУ ПМ, або система "автомашиніст", в якій була відсутня АРШ і мала місце низька точність прицільного гальмування.

В даний час фахівці НДІ ТМ працюють над подальшим вдосконаленням систем, які йдуть в напрямку реалізації концепції СВТС і управління рухом поїзда в режимі «без машиніста».

Удосконалення систем управління і контролю руху поїздів пов'язано також з рішенням і інших проблем.

По-перше, існує проблема прив'язки поїзда до шляху. При цьому вельми актуальна задача підвищення точності вимірювання швидкості і пройденого шляху з урахуванням зносу поверхні кочення колісних пар і прослизання коліс в кривих. До теперішнього часу недостатня точність вимірювання швидкості і пройденого шляху обмежувала розвиток систем управління.

По-друге, важливим завданням для забезпечення безпеки руху, а також підвищення пропускної здатності є визначення поточної координати поїзда. Підвищення точності прив'язки до шляху при виявленні дефектів діагностичними комплексами забезпечить зниження часу на їх локалізацію і, відповідно, зниження витрат. Застосовувана контактна система пікетів для прив'язки до шляху діагностичних комплексів є ненадійною через можливість виходу з ладу механічних елементів, наприклад, при високих швидкостях руху складу або при наявності снігового покриву на шляхах при виїзді складу з депо.

По-третє, досить актуальною проблемою є проблема точного обліку пробігу вагонів. На залізничному транспорті це завдання вирішує реалізацію автоматичного зчитування інформації з рухомих локомотивів і вагонів. У Білорусії зараз впроваджується система автоматичної ідентифікації рухомого складу (CAI ПС) [14, 15]. Автоматизувати отримання достовірної інформації про те, де знаходиться склад в той чи інший момент часу (з виключенням процедур ручного збору даних) стало можливо за допомогою систем радіочастотної ідентифікації (RFID).

Основні принципи роботи CAI ПС наступні. Рухомий склад обладнується кодовими бортовими датчиками КБД-2М, що несуть інформацію про кожну рухому одиницю. Уздовж залізничної колії, в опорних точках на трасі (на вході і виході зі станції, депо) встановлюються пункти зчитування, при проходженні яких автоматично зчитується інформація з датчиків. Отримана інформація передається на концентратор лінійного рівня, що здійснює збір з усіх пунктів зчитування даного залізничного вузла. Після попередньої обробки дані надходять в концентратор дорожнього рівня.



Концентратор дорожнього рівня формує кінцеве повідомлення, що містить ідентифікаційні дані рухомих одиниць (8-значний код рухомого засобу, код країни і власника), код станції і код пункту зчитування, напрямок проходження і час проходження, а також перелік рухливих одиниць у складі поїзда.

CAI ПС знайшли застосування при перетині рухомих складом державних кордонів країн СНД, Латвії, Литви та Естонії. Використовуючи засоби CAI ПС, можна автоматизувати фіксування моментів прибуття і відправлення поїздів на МСП і зчитування номерів вагонів, локомотивів і контейнерів. Це дозволяє звільнити персонал станції від систематичного спостереження за рухомими об'єктами що проходять і візуального зчитування їх номерів, підвищує об'єктивність інформації, що надходить.

Розглянуті системи знайшли застосування на залізницях. Розробка системи для забезпечення високої точності контролю фактичного пробігу вагонів також є актуальним завданням. Наявність достовірної оперативної інформації про пробіг дозволить скоротити потребу в вагонах для перевезення, перейти на організацію їх ремонту за фактичним пробігом, істотно зменшити чисельність персоналу, що виконує операції, пов'язані з отриманням і обробкою інформації, перейти на безпаперову систему управління.

За кордоном досить активно впроваджуються системи руху «без машиніста». Більшість проектів нових і реконструйованих ліній метро в світі реалізуються з використанням телекомунікаційних технологій, що дозволяють перейти на режим автоведення і при відносно невеликих витратах на реалізацію системи автоведення як в автономному режимі, так і в комплексному варіанті, забезпечується економія енергоресурсів.

Зарубіжні системи автоматичного контролю потягу (Automatic TrainControl - АТС), керуючі та контролюючі рух, складаються з двох систем: автоматичне керування поїздом (Automatic Train Operation - АТО) і автоматичне блокування (Automatic Train Protection - АТР). У метрополітенах

Берліна, Лондона, Копенгагена, Парижа, Мадрида і ін. впроваджені різні системи автоматичного управління рухом поїздів АТО [72-74].

Фактично термін АТО використовують стосовно технічних засобів різного ступеня автоматизації. Базовий рівень АТУ має на увазі управління рухом поїзда між станціями із зупинкою на перегоні, якщо цього вимагає система сигналізації, під наглядом машиніста - напівавтоматичного ведення поїзда (Semi- Automatic Train Operation - STO). При роботі в режимі STO забезпечується автоматичне керування тяговими двигунами і гальмами, завдяки чому досягається більш рівномірний хід поїзда з оптимізацією енергоспоживання і пропускної здатності.

Більш складні системи, побудовані на основі базового рівня функціональності АТО, можуть додатково управляти відкриванням і закриванням дверей, роблячи можливим ведення поїзда без машиніста в кабіні управління. Цей режим називається Driverless Train Operation - DTO. При роботі в цьому режимі пред'являються підвищені вимоги до системи сигналізації.

Наступним рівнем автоматизації є Unattended Train Operation - UTO. Режим UTO може використовуватися в широкому діапазоні технологічних операцій: від переміщення порожніх составів до автоматичного управління рухом поїздів в пасажирському сполученні при повній відсутності локомотивної бригади на борту. Цей режим вимагає наявності можливості дистанційного керування поїздом при виникненні будь-якої відмови або, як мінімум, доставки персоналу до складу в найкоротший час. У режимі UTO необхідні особливі заходи безпеки для виключення виникнення перешкод на шляху проходження або використання засобів виявлення перешкод [35 - 37].

Системи другого - четвертого рівнів виконані на базі сучасного апаратно-програмного забезпечення. Вони відрізняються алгоритмами використання бортової апаратури безпеки і автоведення при її несправності.

Істотний «плюс» систем четвертого рівня - розширення можливостей оперативного управління графіком руху, в тому числі при збоях, введенні-

виведенні рухомого складу на лінію і з лінії. Фактично диспетчеру надається вільне управління, оскільки при організації руху не треба враховувати графік роботи машиністів.

При порівнянні «автоматичних» ліній європейських метрополітенів з «неавтоматичними» по таким умовним критеріям, як регулярність і надійність руху, експлуатаційна готовність і надійність обладнання, відзначено перевагу «автоматичних» ліній.

Повна автоматизація управління поїздами вперше була впроваджена на рубежі 1980-х і 1990-х років у Франції, в метрополітені міста Лілль. Метрополітен був обраний для реалізації цієї системи виходячи з того, що поїзд метро повністю ізольований від впливу погоди, від можливого бажання водія змінити напрямок руху, від ризику зіткнення із зустрічним або бажаним зробити обгін транспортним засобом і т.д. система автоматичного управління рухом поїздів Лілльського метро керує всім процесом руху - від пуску до повної зупинки. Метрополітен в Ліллі функціонує 20 год на добу з інтервалом руху поїздів 90 с в години пік і 4 хв під в непіковий час. Міжнародним Союзом Громадської Транспорту були проведені дослідження, які показали, що в порівнянні з іншими зарубіжними метрополітенами Лілльський має найбільш високий відсоток дотримання графіка руху при найменшому інтервалі між поїздами [36, 38].

Управління рухом здійснюється з диспетчерського пункту, Гдень спеціальному табло висвічується поїзне положення на ділянках. Крім того, є автоматизовані системи інформації пасажирів, що дозволяють вести постійний контроль за обстановкою на станціях. Останні обладнані переговорними пристроями для зв'язку пасажира з диспетчером.

Важливу роль в забезпеченні безпеки пасажирів грають платформні двері. Вони утворюють бар'єр між платформою і шляхом і відкриваються синхронно з дверима поїзда.

Опитування пасажирів, що користуються лілльським метрополітеном, показав, що відсутність машиністів і незначне число обслуговуючого

персоналу не є психологічною перешкодою для користування метрополітеном [78, 79].

Метро в Нюрнберзі - перше метро в світі, яке в 2008 році було переведено в поточному режимі експлуатації з звичайного режиму експлуатації на автоматичний, і на початковому етапі на окремій ділянці використовується загальна ділянка траси в режимі експлуатації поїздів без машиніста і з машиністом.

При реалізації проекту RUBIN (реалізація автоматизованої системи метро в Нюрнберзі) складність полягала в тому, щоб максимально зберегти наявні технічні системи та пов'язані з цим методи процесу експлуатації при переводі в автоматичний режим.

Головний компонент лінії U3 в Нюрнберзі - це система автоматичного контролю потягу АТС (Automatic Train Control), що управляє і контролює рух, розроблена концерном Siemens. Головна особливість: система працює за принципом "два з трьох". Це означає, що якщо один комп'ютер вийде з ладу, два інших будуть передавати надійні дані, дублюючи одне одного. Якщо з ладу вийде два комп'ютери, поїзд повинен бути зупинений.

Зв'язок між лінією і постом управління здійснюється по прокладеному вздовж рейок лінійному проводу. На центральному посту управління здійснюється постійний контроль роботи лінії, при необхідності в неї можна втрутитися. Система високочастотних приймачів і передавачів з тісними зв'язками, розташованих трохи нижче кромки платформи, попереджає про попадання на рейки сторонніх предметів і зупиняє поїзда, що під'їжджають, якщо на рейках виявляються небезпечні перешкоди. Чутливі інфрачервоні датчики в дверях запобігають рух поїзда навіть в тому випадку, якщо між дверима всього лише застрягло пальто. Особливу увагу приділено налаштування системи захисту платформ наземних станцій, щоб вона не зупиняла рух поїздів, якщо на рейки, наприклад, ненадовго сяде голуб. Кожні 4 мс робиться знімок платформи.

Аналогічні проекти впроваджуються в Гельсінкі, Парижі та Гонконзі.

Повністю автоматизовані системи управління рухом поїздів реалізовані на окремих лініях метрополітенів Ванкувера, Марселя, Ліона, Саппоро, Мехіко, Парижа і ін. [41-44].

Для підтримки високих параметрів економічної ефективності в розвинених країнах постійно ведеться пошук нових технічних рішень, так як рівень розвитку економіки безпосередньо пов'язаний з технологічним розвитком. Для забезпечення лідируючих позицій на ринку транспортних послуг багато компаній прагнуть до створення умов безпечного і ефективного функціонування залізничного транспорту, до формування єдиного інформаційного простору, що в свою чергу вимагає впровадження і використання принципово нових технічних рішень. Ведуться роботи по створенню та вдосконаленню комплексів управління та забезпечення безпеки на локомотивах, включаючи розробку «інтелектуального потяга» з вбудованою системою автоведення і самодіагностики [89].

Використання бездротових технологій для передачі інформації на відстань дозволяє контролювати характеристики руху локомотива і технічний стан його основних систем в режимі реального часу.

Фірмою Siemens розроблено рішення для всіх підсистем єдиної європейської системи забезпечення безпеки руху поїздів European Train Control System - ETCS (сімейство TRAINGUARD (ТРЕЙНГВАРД)) [33]. Це як бортова і колійна підсистеми, так і канали зв'язку для обміну даними двох підсистем - Баліз (Eurobalise S21), шлейфи (Euroloop S21) і Euroradio (мережа GSM-R) з нормованими інтерфейсами і з застосуванням нормованих функцій.

Устаткування рухомого складу складається з безпечного поїзного комп'ютера EVC; інтегрованого пристрою вимірювання шляху і швидкості (SDMU), що використовує імпульси датчика вимірювання шляху, інформацію від радара і оцінку сигналів від колійних міток (Евробалізи S21); інтегрованого модуля зв'язку з Баліз (BTM); антени для зв'язку з Баліз і шлейфами; дисплея ETCS (HMI - Human Machine Interface, людино-машинного інтерфейсу); «Чорного ящика» - реєстратора даних, що мають юридичну силу (Juridical

Recorder); цифрового пристрою введення/виводу (наприклад, включення екстреного гальмування) і блоку зв'язку з існуючими на дорозі системами АЛС.

Подорожній електронний блок S21 LEU (Lineside Electronic Unit) монтується в сигнальному ящику або в окремому корпусі і через сигнальний кабель зчитує показання сигналу. Залежно від лічених показань вибирається з пам'яті відповідна телеграма і по кабелю посилається на підключену до блоку LEU євробалізу S21.

Євробалізи - структурна частина системи АЛС, які забезпечують продуктивний і стандартизований обмін даними між колійним полотном і поїздом, при цьому можлива інтеграція в будь-яку систему АЛС. Євробалізи забезпечують високонадійну передачу даних при швидкостях руху поїздів до 500 км/год; економічність завдяки застосуванню сучасних технологій; мінімальний обсяг завдяки малим габаритам і вазі пристроїв; безконтактне програмування; необслуговувані компоненти; відповідність європейським нормам. Євробалізи використовують в метро Валенсії, на залізницях Німеччини і Швейцарії. В Україні євробалізи поки не застосовуються через досить високу вартість.

Характерною особливістю системи TRAINGUARD є те, що вся інформація, необхідна для забезпечення безпеки руху поїзда на певній ділянці шляху передається по радіо через центральний пост радіоблокування (RBC, Radio Block Centre). Для цього використовується цифрова система залізничного радіозв'язку GSM-R (Global System for Mobile Communication - Railways). Євробалізи S21 служать в цьому випадку тільки в якості колійних міток блок-ділянок (рисунок 1.2).

Підлогові сигнали в цій системі не потрібні. Але, встановлені в певних місцях (наприклад, стрілки, горловини станцій), вони дають можливість інтеграції резервної системи. Інформація про вільність або зайнятості тих чи інших рейкових ділянок передається від RBC.

У RBC є «атлас залізниць» відповідної ділянки мережі, на якому RBC контролює безпеку руху поїздів. Залежно від встановлених маршрутів, зайнятості рейкових ділянок та місця розташування поїздів RBC видає або поновлює дозволу на рух (MA, Movement Authorities) окремим рухомих одиниць.

Бортовий комп'ютер EVC на основі переданого по системі GSM-R дозволу на рух обчислює і потім контролює виконання графіка безпечної швидкості, а також графік гальмування до наступної точки зупинки або зниження швидкості.

За рахунок застосування методу їзди «в межах електронної видимості» декількох блок-ділянок, що лежать попереду, поїзди рухаються з максимально допустимою на даній ділянці швидкістю. Через можливість рухатися поїздами один за одним незалежно від розстановки сигналів, міжпоїздні інтервали скорочуються. Пропускна здатність ділянки значно зростає.

Це особливо вигідно при будівництві нових ліній, де можливо відмовитися від більшої частини сигналів на перегонах і тим самим отримати значну економію кабелю і експлуатаційних витрат.

У 2003 році Німецькими залізницями була прийнята в дослідну експлуатацію система TRAINGUARD VC 200 Рівня 2 ETCS на ділянці Ютербог-Галле/Лейпциг. Вперше состав, який ведеться локомотивом, обладнаним бортовою апаратурою TRAINGUARD VC 200 розвинув на ділянці Ютербог-Биттерфельд швидкість 200 км/год. Ділянка двоколійна, електрифікована, має протяжність близько 154 км. За допомогою локальної обчислювальної мережі 2 поста радіоблокування з'єднані з двома мікропроцесорними централізаціями. Для здійснення радіозв'язку постів радіоблокування з поїздами через мережу GSM-R обидва RBC підключені до комутатора мобільного зв'язку MSC (Mobile Switching Centre) в Лейпцігу. На шляху встановлено близько 950 євробаліз.

Крім цього, системи сімейства TRAINGUARD працюють сьогодні на міській залізниці Берліна, на лініях Швейцарії, Австрія, Угорщина, Іспанії,

Голландії. В даний час на залізниці в Стокгольмі впроваджена перша в світі регіональна система ETCS рівня 3. На відміну від ETCS рівнів 1 і 2, впроваджена система не передбачає наявності на лінії підлогових засобів контролю вільності колії. Рейкові кола використовуються тільки на переїздах і на шляхах маневрових районів на станціях. Ключовим компонентом регіональної системи ETCS є центр управління ТСС, який об'єднує в собі функції центру радіоблокування і системи централізації. При надходженні в ТСС від оператора центру або автоматизованої системи запиту на рух поїзда з однієї точки на лінії до іншої, підсистема централізації встановлює стрілки в потрібне положення і перевіряє вільність маршруту. Потім підсистема централізації резервує маршрут і відправляє в центр радіоблокування RBC повідомлення про можливість видачі поїзду дозволу на рух. RBC відправляє дозволу на рух в бортову систему поїзда по мережі радіозв'язку GSM-R. При русі поїзда бортова антена активує шляхові прийомовідповідачі, передають в бортову систему фіксовані повідомлення, на основі яких оновлюються показання поїзного пристрою вимірювання пройденого шляху [40-42].