

ХІСМАТУЛІН В.Ш., кандидат технічних наук, професор, професор кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту

САГАЙДАЧНИЙ В.Г., аспірант кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту

ПЕЛЕХ В.Р., аспірант кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту



Порівняльна характеристика та проблеми побудови координатних систем регулювання рухом поїздів

Дана коротка характеристика основних варіантів побудови та структури координатних систем регулювання рухом поїздів. Встановлено, що найбільшу пропускну спроможність можуть забезпечити системи з рухомими блок-ділянками. В таких системах блок-ділянки існують лише в математичних моделях, що дає змогу створювати межі та довжину блок-ділянок з розрахунку координати хвоста попереду розташованого поїзда та довжини мінімально допустимого захисного інтервалу з урахуванням реальних характеристик обох поїздів.

Визначено список функцій, що виконуються в системах координатного регулювання руху поїздів з рухомими блок-ділянками. Серед них важливе місце займають операції, пов'язані з отриманням та обробкою координатної інформації – визначення координати голови та довжини поїзда, розрахунок допустимої швидкості руху поїзда до хвоста попереду розташованого поїзда.

Основні проблеми полягають у створенні програмного забезпечення для розрахунку віртуальних блок-ділянок як підрозділів в рамках існуючої архітектури, а також забезпечення високої надійності каналів радіозв'язку. Наведені основні компоненти програмного забезпечення, необхідні для розрахунку віртуальних блок-ділянок. Воно повинно розраховувати координати стану (місцезнаходження, швидкість) на підставі інформації від датчиків. За результатами оцінки координат стану необхідно проводити їх екстраполяцію з урахуванням динамічних властивостей (тягових та гальмівних можливостей) поїздів. Координатна інформація також є базою для формування команд керування рухом поїздів та вирішення задач оптимізації параметрів руху поїздів (точність виконання графіку руху поїздів, мінімізація енергозатрат та ін.).

Проведено аналіз практичної реалізації координатних методів регулювання рухом поїздів в системах, що експлуатуються у світі. За результатами аналізу встановлено, що на сьогоднішній день лише в європейській системі ETSC-3 мінімальний міжпоїзний інтервал визначається на основі розрахунку довжини гальмівного шляху та координати хвоста попереду розташованого поїзда, що значно підвищує пропускну здатність ділянки. У зв'язку з обмеженнями пропускну спроможності та у зв'язку з великими очікуваннями економії на інфраструктурі попит на ETCS-3 зростає. Це також дозволяє видалити колійне обладнання для виявлення поїздів, такі як рейкові кола або лічильники осей. Однак вона знаходиться в стадії розробки, тому що є велика кількість проблем на шляху реалізації.

Ключові слова: координатні системи регулювання, інтервальне регулювання, рухомі блок-ділянки, автоматичне регулювання руху поїздів, канал радіозв'язку.

Вступ

Для збільшення пропускну спроможності залізничних колій у 70-х роках ХХ в. були запропоновані принципи координатної організації руху поїздів.

© ХІСМАТУЛІН В.Ш., САГАЙДАЧНИЙ В.Г., ПЕЛЕХ В.Р. 2024

Координатні системи організації рухом поїздів, на відміну від традиційних систем інтервального регулювання, надають можливість регулювання інтервалу часу між поїздами відповідно до їх фактичної швидкості та відносними швидкостями між ними.

Мета

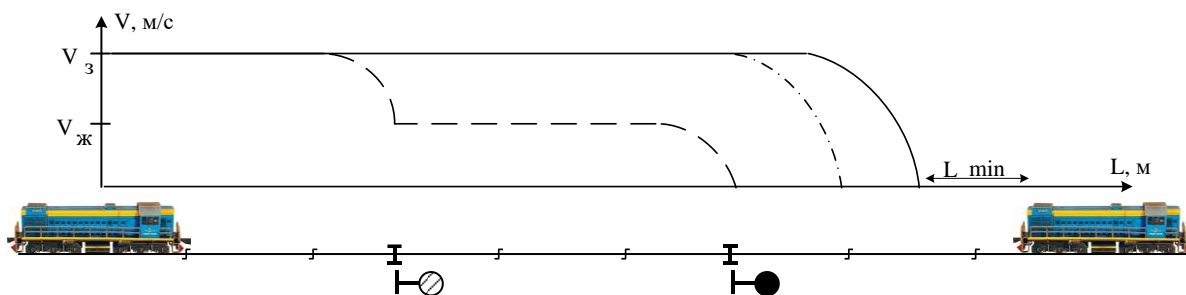
Метою роботи є визначення списку функцій, що виконуються в системах координатного регулювання руху поїздів, аналіз стану та проблем щодо їх практичної реалізації в різних системах, що експлуатуються у світі.

Основний матеріал

Координатні системи розподіляються на два основні типи – з фіксованими та з рухомими блок-ділянками [1]. В системах з фіксованими блок-ділянками їх довжина визначається фактичною швидкістю руху поїзда та його гальмівними можливостями на ділянці між

попереджувальним сигналом та сигналом огороження. В системах з рухомими блок-ділянками блок-ділянки існують лише в математичних моделях, що дає змогу створювати межі та довжину блок-ділянок з розрахунку координати хвоста попереду розташованого поїзда та довжини мінімально допустимого захисного інтервалу з урахуванням реальних характеристик обох поїздів.

Для порівняння можливостей координатних методів на рисунку 1 приведено криві гальмування для різних способів організації руху поїздів на перегоні.



----- інтервальні системи керування; - - - - координатні системи керування з фіксованими блок-ділянками, ——— координатні системи керування з рухомими блок-ділянками

Рисунок 1 – Програмні криві гальмування інтервальних та координатних способів керування рухом поїздів

Загальна структурна схема організації руху поїздів при координатному регулюванні представлена на рисунку 2. Згідно із схемою, керування рухом поїздів виконується шляхом обробки координатної інформації з поїздів, що знаходяться на перегоні, та формування команд керування рухом.

Команди керування розраховуються на підставі даних про тип поїзда, параметри їх руху (місцезнаходження, фактичні швидкості) та гальмівні можливості. При розрахунку команд керування визначається мінімально допустимий інтервал до хвоста попереднього поїзда, а відповідно до нього формуються обмеження та рекомендовані параметри руху.

Координатний принцип регулювання руху поїздів не потребує використання традиційних рейкових кіл для визначення місцезнаходження поїзда та обміну інформації між ними. Замість

цього організується неперервний двосторонній цифровий радіозв'язок.

На основі матеріалів [1, 2, 3] визначено список функцій, що виконуються в системах координатного регулювання руху поїздів:

- 1) обмін даними між колійними та локомотивними пристроями за допомогою радіоканалу;
- 2) обмін даними між сусідніми локомотивами;
- 3) визначення координати голови поїзда;
- 4) визначення довжини поїзда;
- 5) розрахунок допустимої швидкості руху поїзда до хвоста попереду розташованого поїзда;
- 6) можливість погодження з традиційними системами автоматичного блокування;
- 7) контроль цілісності поїзда;
- 8) самодіагностика системи.

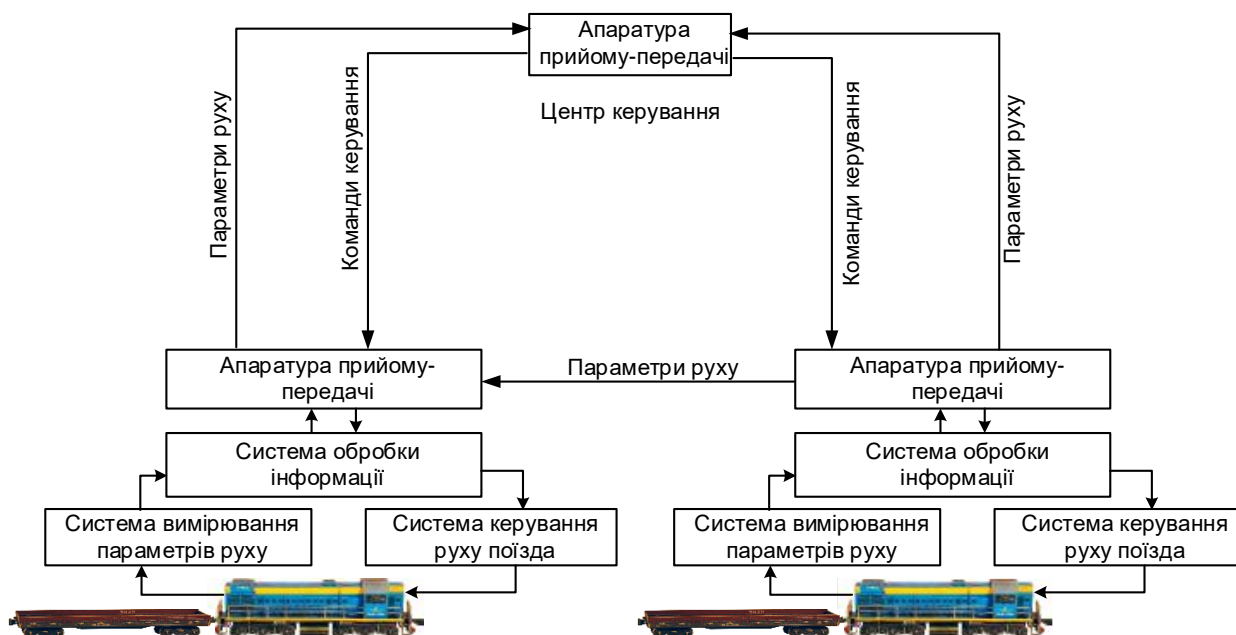


Рисунок 2 – Структурна схема системи координатного регулювання руху поїздів

На сьогоднішній день у світі експлуатуються декілька систем координатного регулювання руху поїздів. Серед них найбільше розповсюдження знайшли системи ITCS виробництва компанії General Electric [1], європейська система ETCS першого та другого та рівнів [4,5], система СІРДП-Е виробництва

компанії Bombardier [6], а також АЛСР, що розроблена НІЦ «Промелектроніка» [7], АБТЦ-МШ та КЛУБ-У [8,9], які були розроблені ОАО «ВНИИАС».

Аналіз відповідності існуючих систем представленому списку функцій наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Оцінка функцій існуючих координатних систем регулювання руху поїздів

№ функції	ITCS	АЛСР	СІРДП-Е	ETCS 2	АБТЦ-МШ	КЛУБ-У
1	+	+	+	+	+	+
2	-	-	-	+	-	-
3	+	+	+	+	+	+
4	-	-	-	+	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	-	+	+	+	+	+
7	+	-	-	+	-	-
8	+	+	+	+	+	+

Таким чином, жодна з розглянутих систем не забезпечує виконання функції розрахунку допустимої швидкості руху поїзда до хвоста попереду розташованого поїзда, тобто вони є системами з фіксованими блок-ділянками, що за основними принципами функціонування мало відрізняються від традиційних інтервальних систем регулювання рухом поїздів.

Зараз в стадії розробки знаходиться лише одна координатна система регулювання руху поїздів з рухомими блок-ділянками – система ETCS-3 третього рівня [5,10]. В ній мінімальний міжпоїзний інтервал визначається на основі розрахунку довжини гальмівного шляху та координати хвоста попереду розташованого поїзда, що значно підвищує пропускну здатність

ділянки. Технологія ETCS-3 постійно контролює безпечну максимальну швидкість кожного поїзда, кабіна сигналізує машиністу, а бортові системи беруть на себе управління у разі перевищення допустимої швидкості. В системі ETCS-3 регулювання руху поїздів виконується лише за допомогою цифрового радіоканалу з диспетчерського центру керування.

Структура системи ETCS-3 наведена на рисунку 3.

Диспетчерський центр керування складається з двох серверів радіоблокування, що взаємодіють з:

- сервером системи GSM-R для передачі даних на локомотив;
- сервером бази даних;
- сервером даних інфраструктури;

- автоматизованим робочим місцем диспетчера;
- діючою системою автоматичного блокування;
- автоматизованим робочим місцем адміністратора.

Локомотивне обладнання складається з бортового комп'ютера EVC, що приймає дані від антен. Після обробки отримана інформація

передається на дисплей машиніста. Локомотивні пристрої системи ETCS доповнюються датчиком шляху, швидкості та тиску у гальмівних магістралях.

Локомотивні пристрої визначають своє місцезнаходження за допомогою датчика шляху, що корегується за допомогою пристроїв приймання-передачі Eurobalise.

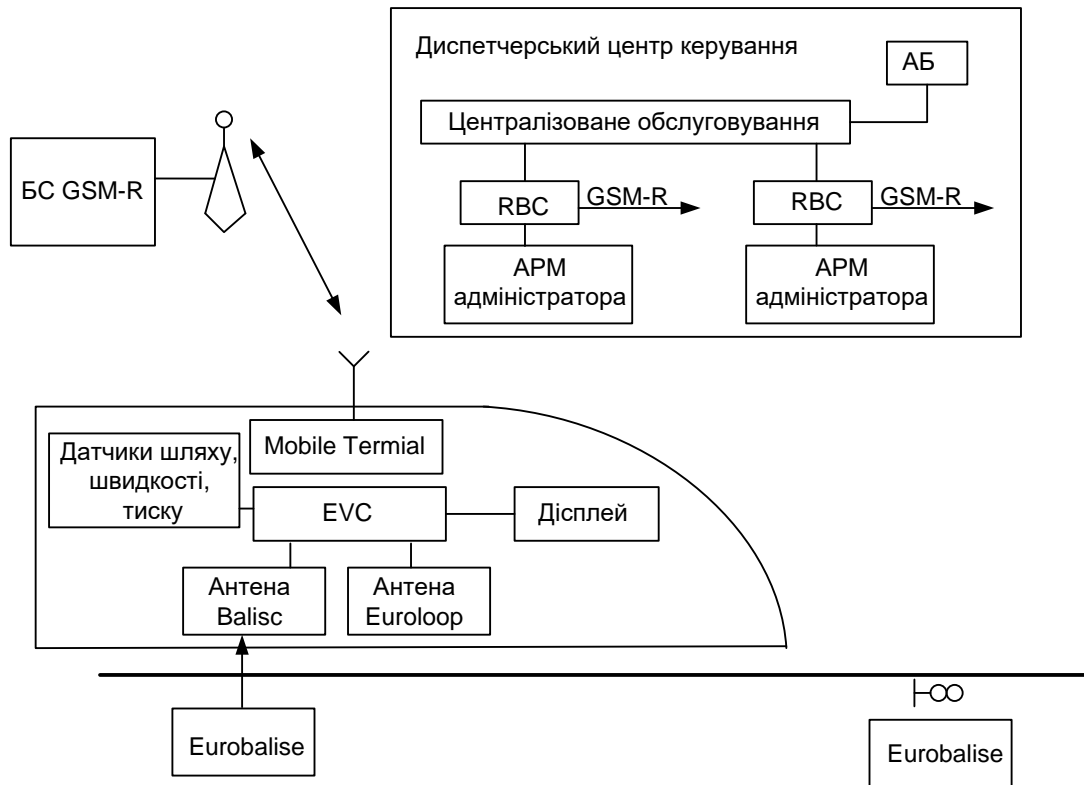


Рисунок 3 – Структура системи ETCS-3

Внаслідок того, що традиційні пристрої контролю місцезнаходження поїзда не застосовуються, для контролю цілісності і довжини поїзда використовується внутрішньопоїзний радіоканал.

У зв'язку з обмеженнями пропускної спроможності та у зв'язку з великими очікуваннями економії на інфраструктурі попит на ETCS-3 зростає. ETCS3 забезпечить основу більш високих рівнів автоматизації поїздів, дозволить використовувати рухому блок-ділянку, а це означає, що два поїзди зможуть рухатися поспіль з мінімальними відстанями. Це також дозволяє видалити колійне обладнання для виявлення поїздів, такі як рейкові кола або лічильники осей. Зрештою очікується, що ETCS-3 знизить капітальні витрати та витрати на технічне обслуговування, а також підвищить надійність та оптимізує роботу поїздів за рахунок автономного

водіння, автоматичного регулювання руху поїздів, IP-радіо та супутникового позиціонування.

Основні проблеми полягають у створенні віртуальних блок-ділянок як підрозділів в рамках існуючої архітектури, а також забезпечення високої надійності каналів радіозв'язку [10].

Створення віртуальних блоків покладено на програмне забезпечення. Воно повинно виконувати наступні основні задачі:

- розраховувати координати стану (місцезнаходження, швидкість) на підставі інформації від датчиків;
- проводити екстраполяцію (прогнозувати зміну) координат стану з урахуванням динамічних властивостей (тягових та гальмівних можливостей) поїздів;
- розраховувати план-графік та формувати команди керування рухом поїздів, враховуючи координати стану попереду розташованого поїзда, обмежень швидкості на ділянці, безпеки руху,

– вирішення задач оптимізації параметрів руху поїздів (точність виконання графіку руху поїздів, мінімізація енергозатрат та ін.).

Всі вказані задачі має вирішити не тільки на програмному, а й та апаратному рівнях, перш ніж координатний спосіб регулювання з рухомими блок-ділянками буде впроваджено у стандартний спосіб роботи. Проте дана система знаходиться в експериментальній стадії і на сьогодні не була впроваджена на жодній ділянці залізниць світу.

Висновки

За проведеним аналізом встановлено, що жодна з систем, що знаходяться в експлуатації, не забезпечує виконання функції розрахунку допустимої швидкості руху поїзда до хвоста попереду розташованого поїзда, тобто вони є системами з фіксованими блок-ділянками, які за основними принципами функціонування мало відрізняються від традиційних інтервальних систем регулювання рухом поїздів. Основні проблеми в реалізації систем з рухомими блок-ділянками полягають у створенні віртуальних блок-ділянок на програмному та апаратному рівнях, а також забезпечення високої надійності каналів радіозв'язку

Література

- 1 Ходжаєв У. Система ІТС. Інтелектуально-інтервальне управління рухом / У. Ходжаєв, П. Томас // Автоматика, зв'язок, інформатика. – 2006. – №8. – С. 48-49.
- 2 Lacot F. ERTMS wird Reailitat / F. Lacot, J. Pore // Signal und Draht. – 2004. – №10. – S. 6-12.
- 3 Кисільгоф Г. К. Застосування SCADA при розробці спеціального програмного забезпечення АБТЦ-МШ / Г. К. Кисільгоф, І. М. Кравець, Т. В. Абрамова // Автоматика, зв'язок, інформатика. – 2017. – №10. – С. 5-8.
- 4 European Train Control System [Electronic resource] / Access mode: <https://www.thalesgroup.com/en/european-train-control-system-etcs23>
- 5 ETCS Levels and Modes - European Commission.html [Electronic resource] / Access mode: https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/ertms/what-ertms-and-how-does-it-work/etcs-levels-and-modes_en
- 6 Хромушкін К. Д. Система інтервального регулювання на базі радіоканалу / К. Д. Хромушкін, Є. В. Павлов // Автоматика, зв'язок, інформатика. – 2007. – №11. – С. 7-9.
- 7 Тільк І. Г. Система інтервального регулювання руху поїздів / І. Г. Тільк, В. В. Ляний // Автоматика, зв'язок, інформатика. – 2009. – №1. – С. 24.
- 8 Шухіна Є. Є. Результати експлуатації мікропроцесорної системи автоблокування АБТЦ-

МШ / Є. Є. Шухіна, А. В. Марков, С. В. Маршов // Автоматика, зв'язок, інформатика. – 2014. – №6. – С. 8-12.

9 Розенберг О.М. Комплексні локомотивні системи безпеки/Є.М. Розенберг, Є. Є. Шухіна, Г.К. Кисільгоф // Автоматика, зв'язок, інформатика. – 2014. – №10. – С. 2-4.

10 When will we see ETCS Level 3 train control systems? [Electronic resource] / Access mode: <https://www.arcweb.com/industry-best-practices/when-will-we-see-etcs-level-3-train-control-systems>

Ключові слова: координатні системи регулювання, інтервальне регулювання, рухомі блок-ділянки, автоматичне регулювання руху поїздів, канал радіозв'язку.

Khismatulin V., Sagaidachnyi V., Pelekh V. Comparative characteristics and problems of constructing coordinate train control systems traffic.

A brief description of the main options for constructing and structuring coordinate systems for train traffic control is given. It has been established that systems with moving block sections can provide the greatest throughput. In such systems, block sections exist only in mathematical models, which makes it possible to create the boundaries and lengths of block sections by calculating the coordinates of the tail of the train ahead and the length of the minimum allowable guard interval, taking into account the real characteristics of both trains.

A list of functions performed in coordinate train traffic control systems with moving block sections is determined. Among them, an important place is occupied by operations related to obtaining and processing coordinate information - determining the coordinates of the head and length of the train, calculating the allowable speed of the train to the tail of the train ahead.

The main problems are in creating software for calculating virtual block sections as units within the existing architecture, as well as ensuring high reliability of radio communication channels. The main components of the software necessary for calculating virtual block sections are given. It should calculate the state coordinates (location, speed) based on information from sensors. Based on the results of the assessment of the state coordinates, it is necessary to extrapolate them taking into account the dynamic properties (traction and braking capabilities) of trains. Coordinate information is also the basis for forming train traffic control commands and solving problems of optimizing train traffic parameters (accuracy of train schedule execution, minimization of energy consumption, etc.).

An analysis of the practical implementation of coordinate methods for regulating train traffic in systems operated in the world has been conducted. The analysis results show that today only in the European ETSC-3 system the minimum inter-train interval is determined based on the calculation of the braking distance length and the tail coordinates of the train in front, which significantly increases the throughput of the section. Due to capacity limitations and high expectations of savings on the infrastructure, the demand for ETCS-3 is growing. It also allows for the removal of trackside equipment for train detection, such as rail wheels or axle counters. However, it is still in development because there are a large number of implementation challenges.

Keywords: coordinate train control systems, interval control, moving block sections, automatic control of train traffic, radio communication channel.

Хісматулін Володимир Шайдуллович, кандидат технічних наук, професор, професор кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-7578-1217>

e-mail: khisvs@kart.edu.ua

Сагайдачний Владислав Геннадійович, аспірант кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-2511-9852>

e-mail: v.sahaidachnyi@kart.edu.ua

Пелех Володимир Романович, аспірант кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків, Україна

<https://orcid.org/0009-0000-3201-4632>

e-mail: vpeleh@gmail.com

Khismatulin Volodymyr, Ph.D., professor, professor of the Department of automatic and computer remote control of train traffic, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-7578-1217>

e-mail: khisvs@kart.edu.ua

Sahaidachnyi Vladyslav, postgraduate Department of automatic and computer remote control of train traffic, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

<https://orcid.org/0000-0003-2511-9852>

e-mail: v.sahaidachnyi@kart.edu.ua

Pelekh Volodymyr, postgraduate Department of automatic and computer remote control of train traffic, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

<https://orcid.org/0009-0000-3201-4632>

e-mail: vpeleh@gmail.com