

УДК 656.256.3

Ю. В. БУРКОВСЬКИЙ – студент групи 957-М, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

К. В. ГОНЧАРОВ – к.т.н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, goncharov_k@inbox.ru

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРАДИЦІЙНИХ ТА КООРДИНАТНИХ СИСТЕМ ІНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ ПОЇЗДІВ

Статтю представив д. фіз.-мат. н., проф. В. І. Гаврилюк

Постановка проблеми

Системи інтервального регулювання руху поїздів (СІРРП) призначені для забезпечення високої пропускної та провозної здатностей, безпеки руху поїздів на магістральних лініях залізниці. До таких систем відносять напівавтоматичне блокування (ПАБ), автоблокування (АБ), автоматичну локомотивну сигналізацію (АЛС) та систему автоматичного управління гальмуванням поїзда (САУТ) [5].

Система напівавтоматичного блокування застосовується лише на малоділяльних ділянках (в основному однокільних). На сьогоднішній день на залізницях України основною СІРРП на перегонах є система автоблокування. При застосуванні АБ перегін розбивається на фіксовані блок-ділянки, на границях яких ставляться прохідні світлофори. В залежності від місцезнаходження поїздів автоматично змінюються показання прохідних світлофорів, що дозволяє машиністу визначити де знаходиться попереду їдучий поїзд та дотримуватись безпечного міжпоїздного інтервалу. Вільність колійних ділянок та цілісність рейкової лінії визначається за допомогою рейкових кіл (РК). Для підвищення безпеки руху поїздів разом з АБ застосовують систему АЛС, яка передає інформацію про показання прохідних світлофорів на локомотив [5].

За кількістю сигнальних показань прохідних світлофорів розрізняють двох-, трьох- та чотирьохзначні АБ. Найбільш широке розповсюдження отримала трьохзначна си-

гналізація, при якій використовуються зелені, жовтий та червоний вогні. Жовтий вогонь попереджає машиніста про червоний за одну блок-ділянку. Мінімальна довжина блок-ділянки при трьохзначній сигналізації повинна бути не менше гальмівного шляху поїзда, у якого він максимальний. Це означає, що на ділянках з рухом вантажних, дальніх пасажирських та приміських поїздів довжина блок-ділянок не повинна бути меншою за гальмівний шлях вантажного поїзда. При цьому не забезпечується потенційно можлива пропускна здатність перегону для пасажирських та приміських поїздів. Підвищити пропускну здатність завантажених ліній з інтенсивним рухом можна за допомогою систем АБ з чотирьохзначною сигналізацією. В таких системах додається ще одне сигнальне показання – жовтий із зеленим вогні, що означає вільність двох блок-ділянок за світлофором. Зелений вогонь, в свою чергу, означає вільність трьох і більше блок-ділянок за світлофором [5, 6].

В традиційних системах АБ розділення перегону на блок-ділянки з незмінною довжиною є оптимальним лише для одного типу поїзда з певною масою, довжиною та швидкістю. Для інших типів поїздів не забезпечується можливість отримати максимальну за умовами безпеки руху пропускну здатність перегону. Крім цього в традиційних системах АБ застосовуються матеріаломістки та дорогі колійні пристрої: рейкові кола, прохідні світлофори, кабельні лінії,

пристрої захисту та узгодження, які потребують високих експлуатаційних витрат.

В умовах збільшення швидкостей руху поїздів виникає необхідність у збільшенні обсягів інформації, що надходить з колії на локомотив, чого не можна досягти з традиційними системами АБ та АЛСН. Однією із альтернатив систем АБ з фіксованими блок-ділянками можуть стати координатні системи інтервального регулювання (КСІР) на базі радіозв'язку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Теоретичні основи для КСІР були розроблені ще декілька десятиріч років назад [4]. В теперішній час з'явилась можливість реалізувати методи координатного інтервального регулювання на високому технічному рівні завдяки появі новітніх мікропроцесорних комплексів, високоточних систем визначення місцезнаходження поїзда. Однією з найбільш відомих КСІР є система ERTMS третього рівня.

Європейська система управління перевізним процесом ERTMS була створена для заміни різних несумісних між собою систем управління і забезпечення безпеки руху поїздів, які застосовуються на залізницях Західної Європи [9]. Концепція ERTMS передбачає три рівні впровадження, що дозволяє реалізувати різні експлуатаційні програми, залежно від міри оснащення лінії колійними пристроями автоматики. Найвищий третій рівень є закінченою системою управління і забезпечення безпеки руху поїздів без використання колійних сигналів і з рухливими блок-ділянками [3]. У системі відсутні перегінні світлофори і колійні пристрої контролю вільності ділянок. Для визначення місцезнаходження поїзда використовуються колійні прийомо-відповідачі (балізи) та локомотивні одометри, а для передачі сигналів АЛС – радіоканал. На сьогоднішній день система ERTMS третього рівня встановлена та знаходиться в постійній експлуатації на однокільній лінії, протяжністю 129 км, в

Швеції (між містами Малунг та Бурленге) [7, 8].

Ще однією КСІР на базі радіозв'язку є система СІРДП-Е, яка розроблена компанією «Bombardier Transportation (Сигнал)». Така система використовується у Казахстані на лінії Узень - Болашак довжиною 146 км. На сьогоднішній день система СІРДП-Е також впроваджується на лінії Хоргос – Жетиген Казахських залізниць довжиною 276 км 422 км.

Таким чином, координатні системи інтервального регулювання все більше впроваджуються на залізницях країн Європи та деяких країн СНГ. У зв'язку із цим, актуальним є проведення досліджень з порівняння традиційних систем автоматики та КСІР.

Мета роботи

Метою даної роботи є порівняльний аналіз традиційних систем автоблокування та координатних систем інтервального регулювання руху поїздів, визначення пропускну здатності перегону при застосовуванні різних типів СІРДП.

Пропускна здатність перегону при застосовуванні трьох- та чотирьохзначного автоблокування

Для отримання заданої пропускну здатності ділянки, обладнаної пристроями АБ, визначають мінімальний міжпоїзний інтервал попутного слідування. Його розраховують на ділянках профілю колії, на яких рух поїздів відбувається з найменшою швидкістю. Такими ділянками можуть бути підйоми, виходи зі станції, де поїзд може мати зупинку, приміські ділянки – в районах зупиночних платформ. В якості мінімального міжпоїзного інтервалу вибирають найбільший з усіх інтервалів, отриманих на ділянці. Мінімальний інтервал при трьохзначній сигналізації визначають при трьохблочному розмежуванні, що забезпечує нормальний рух на зелений вогонь (рис.1) [1, 5, 6].

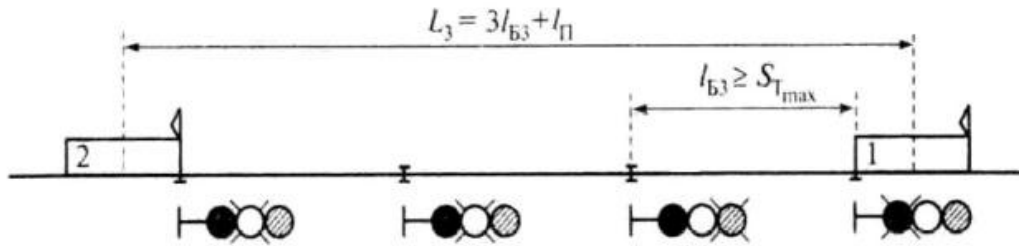


Рис. 1. Автоблокування з трьохзначною сигналізацією

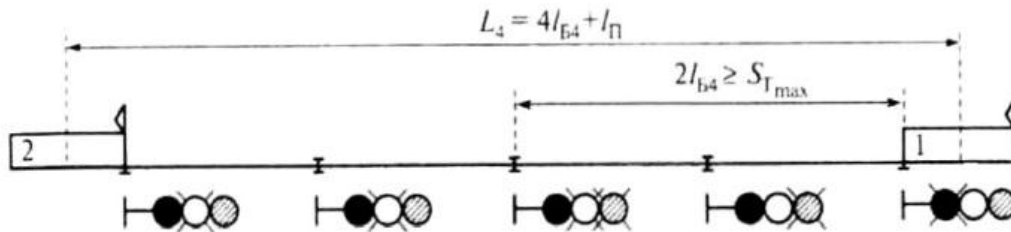


Рис. 2. Автоблокування з чотирьохзначною сигналізацією

Відстань зближення поїздів при трьохблочному розмежуванні [6] визначають між центрами поїздів наступним чином:

$$L_{3\min} = 3l_{Б3} + l_{П}, \quad (1)$$

де $l_{Б3}$ – довжина блок-ділянки при 3-х значній сигналізації, м; $l_{П}$ – довжина поїзда, м. Час мінімального інтервалу при трьохблочному розмежуванні буде рівним [6]:

$$I_3 = 0.06 \frac{3l_{Б3} + l_{П}}{V_{\text{ср}}}, \quad (2)$$

де $V_{\text{ср}}$ – середня швидкість поїзда на розрахунковій ділянці, км/год; 0.06 – коефіцієнт переводу 1 км/год в 1 м/хв.

На ділянках, де курсують поїзди з різними середніми швидкостями та гальмівними шляхами, замість трьохзначної сигналізації може застосовуватись чотирьохзначна (рис. 2) [5]. Мінімальний міжпоїзний інтервал попутного слідування при чотирьохзначній сигналізації визначають за умови, що довжина двох суміжних блок-

ділянок ($2l_{Б4}$) була б не менше гальмівного шляху поїзда ($S_{T\max}$) при максимально можливій швидкості, а також не менше пройденої відстані при екстремому гальмуванні з урахуванням часу на спрацювання пристроїв АЛС та автостопу, але не менше 1000 м [1].

Відстань зближення поїздів при чотирьохблочному розмежуванні [6] визначають між центрами цих поїздів наступним чином:

$$L_{4\min} = 4l_{Б4} + l_{П}, \quad (3)$$

а час мінімального інтервалу при чотирьохзначній сигналізації [6]:

$$I_4 = 0.06 \frac{4l_{Б4} + l_{П}}{V_{\text{ср}}}. \quad (4)$$

Оскільки $l_{Б3} = 2l_{Б4}$, то чотирьохблочне розмежування дозволяє отримати більш високу пропускну здатність ділянки у порівнянні з трьохблочним.

Пропускна здатність перегону при застосуванні координатної системи

Координатні системи інтервального регулювання відрізняються від систем АБ тим, що в них використовується технологія рухливих блок-ділянок. Суть такої техно-

логії полягає в тому, що регулювання руху виконується не на границю фіксованих блок-ділянок, а на координату хвоста поїзда, їдучого попереду. При цьому сам поїзд можна розглядати як рухливу блок-ділянку [6]. Схема функціонування такої системи зображена на рис. 3.

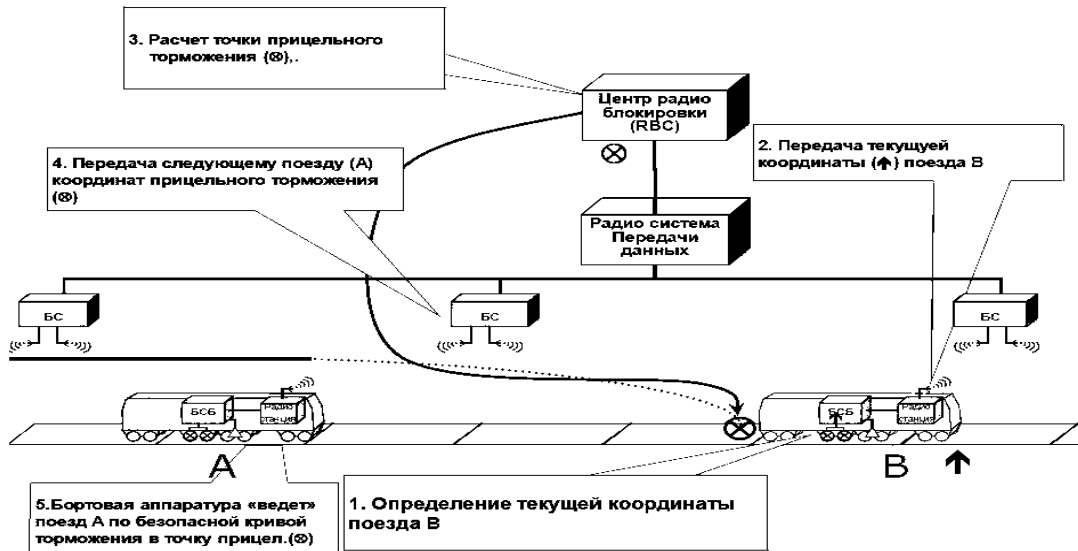


Рис. 3. Схема функціонування КСІР

Поточна координата поїзда В визначається бортовими пристроями та по радіоканалу передається в центр радіоблокування (RBC), де за допомогою стаціонарного обладнання розраховується точка прицільного гальмування і передається по радіоканалу на наступний поїзд А. Бортним обладнанням поїзда А розраховується необхідний швидкісний режим та крива гальмування згідно з отриманими даними. Координати всіх поїздів на ділянці визначаються за допомогою супутникової навігації, датчиків шляху і швидкості. В реперних точках за допомогою колійних прийомопередавачів (баліз) обнуляється похибка визначення координати поїзда. Такі прийомопередавачі є пасивними датчиками та містять в собі інформацію про поточну координату, наступну ділянку колії (підйом, спуск, криві і т.п.), а також швидкісні обмеження, якщо такі маютьесь [6].

З метою створення математичної моделі руху поїзда при КСІР для того, щоб оцінити потенційну пропускну здатність, скористаємося методикою Баранова Л.А. [2]. Формули допрацюємо з урахуванням погрешностей визначення довжини поїзда а також координати голови поїзда. В результаті отримаємо наступний мінімальний міжпоїзний інтервал для координатних систем:

$$I_{\text{КСІР}} = 0.0046 \frac{V}{2a} + 0.06 \frac{L_{\text{загр}}^{\text{вирт}} + l_{\text{п}} + \Delta l_{\text{п}} + 2\Delta l_{\text{сп}}}{V}, \quad (5)$$

де 0.0046 та 0.06 – коефіцієнти, які використовуються для переведення 1 км/год в 1 м/хв та 1 м/с² в 1 м/хв²; $L_{\text{загр}}^{\text{вирт}}$ – довжина віртуальної загороджувальної ділянки, м; $l_{\text{п}}$ – довжина поїзда, м; $\Delta l_{\text{п}}$ – похибка визначення довжини поїзда, м; $\Delta l_{\text{сп}}$ – похибка визначення координати голови поїзда, м; V – ро-

зрахункова швидкість руху, км/год; a – прискорення гальмування, м/с².

Пропускна здатність перегону визначається за допомогою формули [6]

$$N = \frac{1440}{I}, \quad (6)$$

де 1440 – число хвилин за добу, I – міжпоїзний інтервал, хв.

Результати досліджень

Використовуючи формули (2), (5) та (6) за допомогою пакету MATLAB були проведені розрахунки пропускної здатності перегону при використанні трьохзначної системи автоблокування та координатної системи інтервального регулювання. Результати представлені на рис. 4 та 5.

При розрахунках використовувались наступні дані:

$$l_{\text{БЛ}} = 1000..2500 \text{ м}, l_{\text{п}} = 500 \text{ м}, a = 0.5 \text{ м/с}^2, \\ L_{\text{вирт}}^{\text{загр}} = 800 \text{ м}, \Delta l_{\text{п}} = 15 \text{ м}, \Delta l_{\text{сп}} = 30 \text{ м}.$$

На рис. 4 представлена залежність пропускної здатності перегону від швидкості руху поїзда для трьохзначного автоблокування при різних значеннях довжини блок-

ділянки $l_{\text{БЛ}}$ та для координатної системи. Як показують отримані результати при використанні трьохзначного автоблокування пропускна здатність лінійно збільшується при підвищенні швидкості руху поїзда. Збільшення довжини блок-ділянки призводить до зменшення пропускної здатності. Координатні системи дозволяють збільшити пропускну здатність перегону в порівнянні з трьохзначною АБ. Крім цього при КСІР залежність пропускної здатності від швидкості є нелінійною та дозволяє зберегти високу пропускну здатність при різних швидкостях руху поїзда, маючи при цьому точку максимуму. Розрахувавши за цією точкою оптимальну швидкість можна приблизитись до потенційної пропускної здатності.

На рис. 5 представлена залежність міжпоїзного інтервалу від швидкості руху поїзда та прискорення гальмування при використанні координатної системи. Як видно, найменший інтервал попутного слідування спостерігається при високих швидкостях ($V > 100$ км/год) та великих прискореннях гальмування ($a > 1$ м/с²).

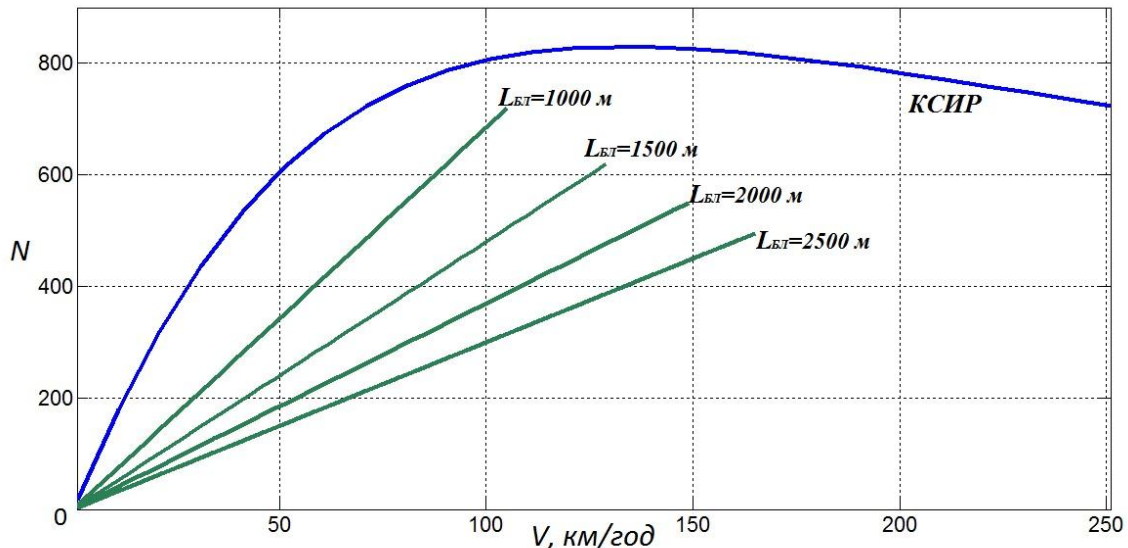


Рис. 4. Залежність пропускної здатності перегону від швидкості руху поїзда для трьохзначного автоблокування та КСІР

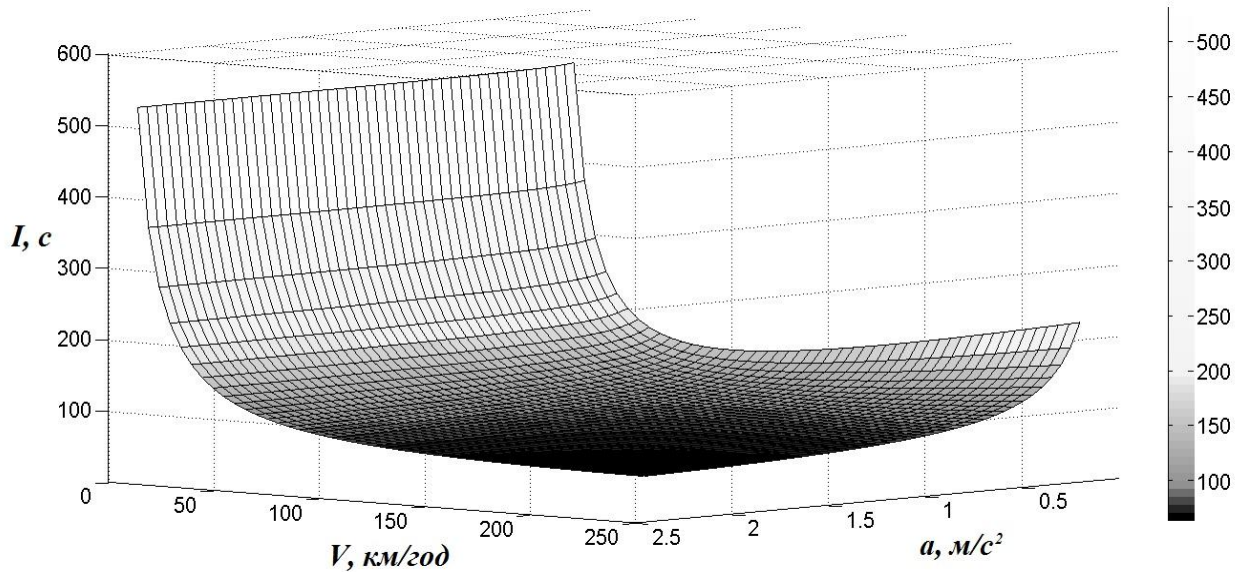


Рис. 5. Залежність міжпоїзного інтервалу від швидкості руху та прискорення гальмування для КСІР

В той же час при високих швидкостях та малому прискоренні гальмування, інтервал починає збільшуватись.

Отримані результати показують, що КСІР є найбільш ефективними на високошвидкісних магістралях, де у поїздів великі швидкості та прискорення гальмування, а також на ділянках зі змішаним рухом, де рухаються як швидкі пасажирські (з великим прискоренням гальмування та високою швидкістю) так і вантажні поїзди (з невеликими швидкостями і прискоренням гальмування).

Висновки

Координатні системи інтервального регулювання руху поїздів дозволяють позбутись багатьох недоліків традиційних систем автоблокування. Вони забезпечують більшу пропускну здатність, дозволяють значним чином скоротити експлуатаційні витрати на обслуговування колійних пристроїв автоматики (не використовуються рейкові кола та прохідні світлофори), покращують умови праці обслуговуючого пер-

соналу. Найбільш ефективним є використання таких систем на високошвидкісних магістралях та ділянках зі змішаним рухом. Проте впровадження координатних систем можливе лише після доказу їх функціональної безпеки та техніко-економічного обґрунтування.

Бібліографічний список

1. Архангельский, Е. В. Расчет пропускной способности железных дорог [Текст] / Е. В. Архангельский, Н. А. Воробьев. – Москва: Транспорт, 1977. – 312 с.
2. Баранов, Л. А. Потенциальная оценка пропускной способности железнодорожных линий по системам безопасности [Текст] / Л. А. Баранов // Сборник докладов 7-ой международной конференции специалистов железных дорог «Южел». – Врњячка Баня (Югославия). – 2000. – С. 43-48.
3. Бергер, Р. Координация внедрения системы ETCS на европейской сети

- [Текст] / Р. Бергер // Железные дороги мира. – 2005. – № 10. – С. 57-61.
4. Брылеев, А. М. Координатная система интервального регулирования движения поездов [Текст] / А. М. Брылеев, И. Е. Дмитренко // Труды МИИТа. – 1968. – Вып. 256. – С. 64.
5. Казаков А. А. Автоматизированные системы интервального регулирования движения поездов [Текст] / А. А. Казаков, В. Д. Бубнов, Е. А. Казаков. – Москва: Транспорт, 1995. – 320 с.
6. Лисенков, В. М. Системы управления движением поездов на перегонах. Т. 1. Функциональные схемы систем [Текст] / В. М. Лисенков. – Москва: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». – 2009. – 160 с.
7. Система ETCS: перспективы и опыт [Текст] // Железные дороги мира. – 2008. – № 4. – С. 63-71.
8. Existing Command – Control systems in Europe. Workshop on ETCS mode "Limited Supervision" 30.6.04. UIC [Текст]. – Paris, 2008. – P. 7.
9. Lacot, E. ERTMS wird Realität [Текст] / E. Lacot, J. Pore // Signal und Draht. – 2004. – № 10. – P. 6-12.
- Ключові слова:** автоматичне блокування, координатна система інтервального регулювання, міжпоїзний інтервал, пропускна здатність.
- Ключевые слова:** автоматическая блокировка, координатная система интервального регулирования, межпоездной интервал, пропускная способность.
- Keywords:** automatic block signaling, coordinate system of interval regulation, interval between trains, bandwidth of railway line.

Надійшла до редколегії 22.04.2014