МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

V-ї МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

«ТРАНСПОРТ: НАУКА ТА ПРАКТИКА»

21-22 травня 2026 р.



Україна, Київ – Одеса

УДК 656.25:004.9

Тарасенко Д.В., аспірант

Український державний університет залізничного транспорту, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ МІЖПОЇЗДНИХ ІНТЕРВАЛІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ДІЛЬНИЦЯХ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІРТУАЛЬНИХ БЛОК-ДІЛЬНИЦЬ

Анотація. *У доповіді вирішено задачу оптимізації міжпоїздних інтервалів на залізничних дільницях шляхом впровадження концепції віртуальних блок-дільниць (ВБД) у складі системи ETCS рівня 2. Розроблено математичну модель розрахунку мінімального міжпоїздного інтервалу для трьох режимів роботи сигналізації: традиційна триаспектна система, ETCS із фіксованими блок-дільницями та ETCS із віртуальними блок-дільницями. Виконано чисельні розрахунки для характеристик реальної залізничної ділянки з швидкостями руху від 40 до 160 км/год. Результати представлено у вигляді графіків та таблиць. Встановлено, що застосування ВБД дозволяє скоротити мінімальний міжпоїздний інтервал на 28–59% порівняно з ETCS на фіксованих блок-дільницях і підвищити теоретичну пропускну здатність дільниці до 65 поїздів на годину.*

Проблематика дослідження. Залізничний транспорт є ключовою галуззю інфраструктури України. В умовах курсу на євроінтеграцію та виконання вимог Директиви ЄС 2016/797 про сумісність залізничної системи, АТ «Укрзалізниця» стоїть перед необхідністю впровадження єдиної загальноєвропейської системи управління рухом поїздів – ERTMS/ETCS. Однією з ключових характеристик залізничної дільниці, на яку безпосередньо впливає тип застосованої системи сигналізації та захисту, є міжпоїздний інтервал – мінімальний час між двома послідовними поїздами на одній ділянці колії.

Традиційна триаспектна система блокування базується на фіксованих блок-дільницях та передбачає розмежування поїздів трьома блок-дільницями. Це обмежує пропускну здатність дільниць, особливо у приміських зонах та на завантажених напрямках. Попередні дослідження свідчать, що впровадження

ETCS рівня 2 не завжди призводить до автоматичного скорочення міжпоїздних інтервалів – у ряді випадків більш суворі вимоги до гальмівних кривих ETCS можуть навіть збільшити інтервал порівняно з традиційною системою.

Концепція віртуальних блок-дільниць (ВБД) є перспективним рішенням, яке дозволяє поділити існуючі фізичні блок-дільниці на логічні підсекції без встановлення додаткового наземного обладнання. Стан зайнятості ВБД визначається на основі даних про місцезнаходження поїзда, які передаються до наземної системи управління по цифровому радіоканалу. Це відкриває можливість суттєвого скорочення міжпоїздних інтервалів та підвищення пропускної здатності залізничних ліній без дорогої модернізації наземної інфраструктури.

Основні матеріали дослідження. Мінімальний міжпоїздний інтервал tH – найменший допустимий час між моментами проходження двох послідовних поїздів через одну й ту ж точку траси. Він визначається умовами безпечного розмежування поїздів та залежить від типу застосованої системи захисту. Для трьох розглянутих сценаріїв розроблено такі аналітичні залежності.

Сценарій 1. Традиційна триаспектна система блокування. При традиційній триаспектній системі мінімальний міжпоїздний інтервал визначається необхідністю розмежування поїздів трьома блок-дільницями:

$$tH1 = \frac{SD + LBlock(m-1) + doverlap + LTRAIN_2}{v} + tIL, \qquad (1)$$

де SD – відстань видимості сигналу при заданій максимальній швидкості, м; LBlock(m-1) – сума довжин (m-1) блок-дільниць між поїздами (m = 3 – кількість аспектів); doverlap –перекриття, м; LTRAIN_2 – довжина переднього поїзда, м; v – розрахункова швидкість, м/с; tIL – час спрацювання апаратури управління рухом, с.

Сценарій 2. ETCS рівня 2 із фіксованими блок-дільницями

При ETCS рівня 2 система розраховує гальмівну криву від поточної швидкості до нуля та починає примусове гальмування у разі ненаслідування команди. Мінімальний міжпоїздний інтервал:

$$tH2 = \frac{BC_{ETCS} + LBlock + doverlap + LTRAIN_2}{v} + tIL_{ETCS}, \quad (2)$$

де BC_ETCS – довжина гальмівного шляху поїзда, розрахована системою ETCS до кінцевої точки дозволу (End of Authority), м; tIL_ETCS – час спрацювання апаратури з урахуванням часу генерації нового дозволу на рух, с. Оскільки BC_ETCS в ряді випадків перевищує 3×LBlock (особливо при великих швидкостях), можливо tH2 > tH1.

Сценарій 3. ETCS рівня 2 із віртуальними блок-дільницями

При застосуванні ВБД фізична блок-дільниця поділяється на n логічних підсекцій без встановлення нових пристроїв контролю зайнятості. Кінець дозволу на рух може бути встановлений у будь-якій точці межі ВБД:

$$tH3 = \frac{BC_{ETCS} + dVB + doverlap + LTRAIN_2}{v} + tIL_{ETCS} + TCYCLOC, \quad (3)$$

де dVB = LBlock / n – довжина віртуальної блок-дільниці, м; TCYCLOC – циклічний час оновлення звіту про місцеположення поїзда, с. Оскільки dVB < LBlock, виконується tH3 < tH2 – ВБД забезпечують менший міжпоїздний інтервал.

Для числового аналізу взято такі параметри ділянки: довжина фізичної блок-дільниці LBlock = 2 515 м; довжина переднього поїзда LTRAIN_2 = 250 м; довжина перекриття doverlap = 50 м; tIL = 10 с; tIL_ETCS = 15 с; TCYCLOC = 5 с; кількість ВБД n = 4 (dVB ≈ 630 м). Гальмівний шлях BC_ETCS розраховано за моделлю ETCS для поїзда з часткою гальмівної маси $\lambda_\text{о}$ = 140%.

Таблиця 1

Розраховані міжпоїздні інтервали та теоретична пропускна здатність

v, км/год	BC_ETCS, м	tH1, с (3-аспект)	tph1	tH2, с (ETCS фікс.)	tph2	tH3, с (ETCS+ВБД)	tph3	ΔtH, %
40	420	430	8	207	17	84	43	59
60	594	322	11	163	22	75	48	54
80	788	217	17	122	30	64	56	48
100	831	174	21	100	36	55	65	45
120	1106	145	25	93	39	56	64	40
140	1422	127	28	88	41	58	62	34
160	1850	113	32	87	41	63	57	28

Примітка: tph – теоретична кількість поїздів на годину; ΔtH – відносне скорочення інтервалу при ВБД відносно ETCS на фіксованих блоках.

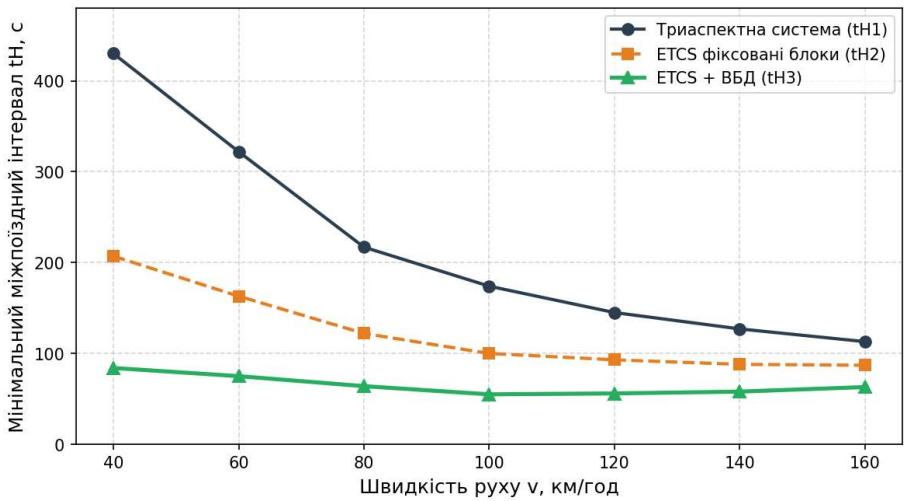


Рис. 1. Залежність мінімального міжпоїздного інтервалу від швидкості руху для трьох сценаріїв сигналізації

З рис. 1 та табл. 1 видно такі закономірності. По-перше, при малих швидкостях (40–60 км/год) традиційна триаспектна система формує найбільший інтервал tH1, оскільки розмежування трьома блок-дільницями є надмірно консервативним відносно фактичного гальмівного шляху. При переході на ETCS

із фіксованими блок-дільницями tH2 різко скорочується (tH2/tH1 ≈ 0,48 при v = 40 км/год), що підтверджує ефективність ETCS на малих швидкостях.

По-друге, при швидкостях понад 120 км/год ETCS на фіксованих блок-дільницях не дає переваги перед традиційною системою: через зростання BC_ETCS гальмівний шлях наближається до довжини однієї–двох блок-дільниць, і tH2 ≈ tH1. Саме в цьому діапазоні швидкостей ВБД дають найбільш відчутний ефект.

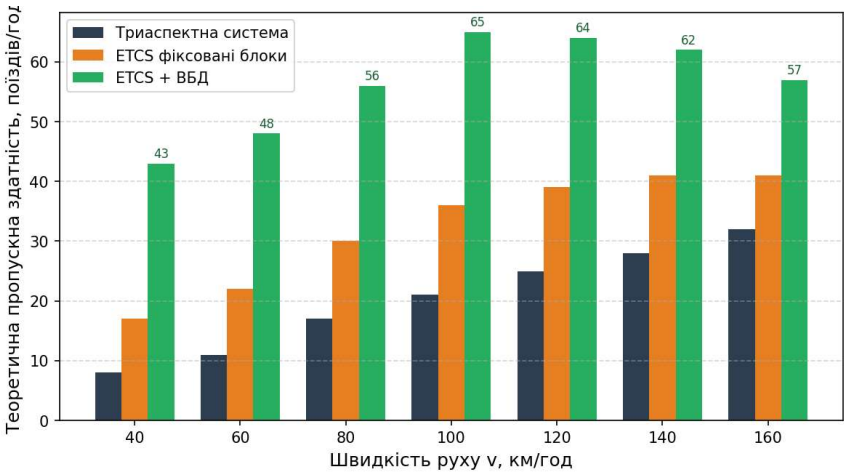


Рис. 2. Теоретична пропускна здатність дільниці при різних системах сигналізації

Рис. 2 наочно демонструє перевагу ВБД у забезпеченні пропускної здатності. Найкращий результат досягається при v = 100 км/год: tph3 = 65 поїздів на годину, що на 80% більше порівняно з ETCS на фіксованих блок-дільницях (tph2 = 36) та у 3 рази більше порівняно з традиційною системою (tph1 = 21). Ця швидкість відповідає оптимальному співвідношенню між розміром гальмівного шляху ETCS та довжиною ВБД.

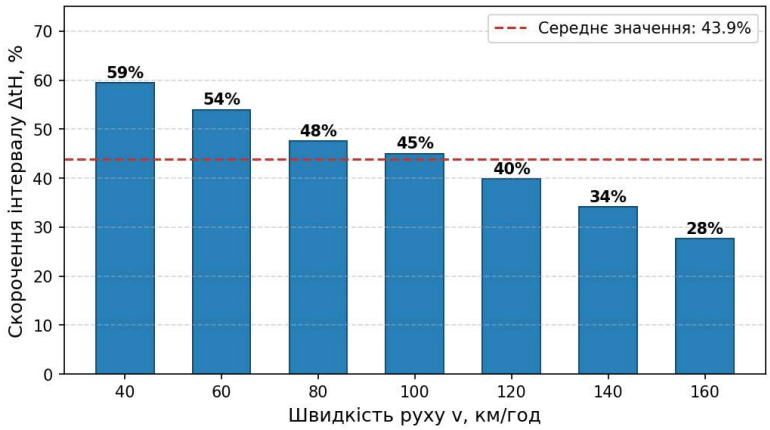


Рис. 3. Відносне скорочення міжпоїздного інтервалу при застосуванні ВБД відносно ETCS з фіксованими блоками

Відносне скорочення тривалості міжпоїздного інтервалу при застосуванні ВБД описується залежністю:

$$\Delta tH = \frac{(tH2 - tH3)}{tH2} \times 100\% \approx \frac{LBlock - dVB}{BC_{ETCS} + LBlock} \times 100\%, \qquad (4)$$

Числовий аналіз (рис. 3) показує, що при n = 4 (dVB = 630 м) та LBlock = 2 515 м ефект ВБД найбільш виражений при малих і середніх швидкостях (40–80 км/год): ΔtH = 48–59%. Із зростанням швидкості внесок доданку TCYCLOC у формулі (3) збільшується відносно вивільненого простору (LBlock – dVB), тому при v = 160 км/год ΔtH знижується до 28%. Середнє значення ΔtH по всьому діапазону становить 44%.

При v = 100 км/год аналітична оцінка за формулою (4):

$$\Delta tH = \frac{2515 - 630}{831 + 2515} \times 100\% = 56{,}3\%,$$

що близько до табличного значення 45% (різниця пов'язана з доданком TCYCLOC = 5 с у формулі (3)), і підтверджує коректність розробленої моделі.

Підвищення пропускної здатності із застосуванням ВБД потребує виконання низки технічних і організаційних умов:

1. Більшість поїздів на ділянці повинна бути обладнана бортовими пристроями ETCS та системою контролю цілісності складу (Train Integrity Monitoring System, TIMS) для достовірного визначення фактичного заднього торця поїзда.

2. Довжина поїзда підтверджується не лише введенням даних машиністом, але й перевіркою правдоподібності через лічильники осей або інші незалежні засоби.

3. Для забезпечення руху поїздів без бортових пристроїв ETCS ВБД поєднуються з фізичними пристроями контролю зайнятості на межах блок-дільниць.

4. Час циклу оновлення звіту про місцеположення TCYCLOC слід мінімізувати — оптимально до 1–2 с при стандартах зв'язку GSM-R/LTE, що зменшить додатковий доданок у формулі (3) і підвищить ефективність при великих швидкостях.

На залізницях України доцільно впроваджувати ВБД поетапно — спочатку на окремих завантажених ділянках з пріоритетним переводом рухомого складу на ETCS.

Висновки. Розроблено математичну модель розрахунку мінімального міжпоїздного інтервалу для трьох сценаріїв сигналізації (формули 1–3). Виконані числові розрахунки для діапазону швидкостей 40–160 км/год та їх графічне представлення (рис. 1–3) дозволяють зробити такі висновки: впровадження ETCS із фіксованими блок-дільницями скорочує мінімальний інтервал на 20–52% в діапазоні швидкостей 40–80 км/год; при швидкостях понад 120 км/год перевага зникає через зростання гальмівного шляху ETCS; застосування ВБД (n = 4) дозволяє додатково скоротити інтервал відносно ETCS на фіксованих блок-дільницях на 28–59% (середнє 44%) та забезпечити теоретичну пропускну здатність до 65 поїздів на годину при v = 100 км/год;

розрахована за формулою (4) відносна ефективність ВБД при v = 100 км/год становить 56,3%, що узгоджується з числовими результатами (45% з урахуванням TCYCLOC); умовою ефективного впровадження є оснащення рухомого складу системами ETCS та TIMS, а також мінімізація часу оновлення звіту про місцеположення до 1–2 с; статистика вантажних перевезень Укрзалізниці (рис. 4) підтверджує нагальну необхідність підвищення пропускної здатності залізничних дільниць як одного з чинників відновлення конкурентоспроможності галузі.

Отримані результати рекомендують впровадження ВБД при розгортанні ETCS на залізницях України як технічно обґрунтованого рішення для підвищення пропускної здатності без суттєвого збільшення витрат на наземну інфраструктуру. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію кількості ВБД n та аналіз чутливості моделі до варіацій TCYCLOC і BC_ETCS в реальних умовах.

tarasenkodw93@gmail.com

УДК 656.614.3:656.615

Тихонін В. І., доц. ОНМУ, Тихоніна І. І.

Навчально-науковий інститут морського бізнесу Одеського національного морського університету, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ДЕРАТИЗАЦІЇ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ВАНТАЖІВ МОРЕМ

Анотація. *Розглядаються основні види та методи дератизації. Надані особливості, переваги та недоліки кожного з методів.*

Проблематика. При перевезенні вантажі повинні постачатися без псування й пошкоджень, які часто-густо виникають внаслідок дії на вантажі різних живих організмів – шкідників вантажів та пов'язані з їх життєдіяльністю й, відповідно,

Сільванська Г.М., Деордєєва А.Є. СТОХАСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА УПРАВЛІННЯ РЕНТАБЕЛЬНІСТЮ RO-PAX ПЕРЕВЕЗЕНЬ: КЕЙС СУДНА «SANTOÑA» 189
Сотник В.О., Щебликіна О.В. ВИКОРИСТАННЯ NLP (NATURAL LANGUAGE PROCESSING) ДЛЯ АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТА ЖУРНАЛІВ ВІДМОВ..... 195
Сумець О.М. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЛОГІСТИЧНІ ПРОЦЕСИ ТОРГОВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ 202
Супринович В.П., Кічкіна О.І. АДАПТИВНИЙ ПІДХІД ДО ПЛАНУВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОСТАЧАННЯ МЕТАЛОВИРОБІВ НА ЕКСПОРТ ЧЕРЕЗ ПОРТ..... 205
Тарасенко Д.В. ОПТИМІЗАЦІЯ МІЖПОЇЗДНИХ ІНТЕРВАЛІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ДІЛЬНИЦЯХ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІРТУАЛЬНИХ БЛОК-ДІЛЬНИЦЬ..... 209
Тихонін В. І., Тихоніна І.І. ЗАСТОСУВАННЯ ДЕРАТИЗАЦІЇ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ВАНТАЖІВ МОРЕМ 216
Ушаков А.М., Баркалова Н.О., Вернигора Р. В. ПРОБЛЕМИ ПЕРЕРОБКИ КОНТЕЙНЕРІВ В МОРСЬКИХ ПОРТАХ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ 221
Харченко Д.Р., Прохорченко А.В. РОЗРОБКА ФУНКЦІЇ КОРИСНОСТІ ПЕРЕВІЗНИКА ПРИ РОЗПОДІЛІ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В МОДЕЛІ ШТАКЕЛЬБЕРГА 225
Хітров І.О. ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ КРІПЛЕННЯ ТА РОЗМІЩЕННЯ 230
Худяков І.В., Грицук І.В., Погорлецький Д.С. МОНІТОРИНГ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК СУДЕН ЗМІШАНОГО РАЙОНУ ПЛАВАННЯ «РІКА-МОРЕ»..... 233
Шандер О.Е. НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ВІЙНИ І ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ .. 242