

Розглядається аналітичний розрахунок коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими на залізничних напрямках, обладнаних автоблокуванням при різних довжинах блок-ділянок та швидкостях руху вантажних та прискорених і швидкісних пасажирських поїздів

Ключові слова: коефіцієнт зйому вантажних поїздів, пропускна спроможність залізничних напрямків, розміри руху поїздів

Рассматривается аналитический расчет коэффициентов съема грузовых поездов пассажирскими на железнодорожных направлениях, оборудованных автоблокировкой при разных длинах блок-участков и скоростях движения грузовых, ускоренных и скоростных пассажирских поездов

Ключевые слова: коэффициент съема грузовых поездов, пропускная способность железнодорожных направлений, размеры движения поездов

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТІВ ЗЙОМУ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ ПАСАЖИРСЬКИМИ В УМОВАХ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Р. В. Вернигора

Кандидат технічних наук, доцент*

О. Ю. Папахов

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра управління експлуатаційною роботою**

E-mail: parahov0362@mail.ru

Н. О. Логвінова

Аспірант*

E-mail: nata4ka8007@mail.ru

Кафедра станції та вузлів

**Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна
ул. Ак. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010

1. Вступ

Практично на всіх залізничних лініях обертаються поїзда різних категорій, а саме: пасажирські з різними швидкостями руху, приміські, прискорені вантажні і вантажні.

Різність швидкостей руху пасажирських та вантажних поїздів впливають на пропускну спроможність залізничних напрямків, що приводить до не-паралельного графіка руху поїздів та зменшення пропускної спроможності.

Пропускна спроможність залізничних напрямків розраховується в парах вантажних поїздів, а зв'язок між розмірами руху пасажирських та вантажних поїздів здійснюється через приведення розмірів руху пасажирських поїздів до вантажних з використанням коефіцієнтів зйому.

Коефіцієнт зйому залежить від різниці швидкостей руху пасажирських (звичайних, прискорених, швидкісних) та вантажних поїздів і показує зменшення можливої кількості поїздів у вантажному русі у зв'язку з пропуском пасажирських поїздів різних категорій.

Коефіцієнт знімання ниток графіку пасажирськими поїздами на одноколіїних ділянках з двоколіїними вставками обладнаних автоблокуванням залежить від відстані між роздільними пунктами, довжини блок-ділянок, часу ходу по блок-ділянці пасажирських та вантажних поїздів парного та не парного напрямків, станційних інтервалів по прибуттю та відправленню.

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

На теперішній час існує методика розрахунку коефіцієнту зйому вантажних поїздів звичайними пасажирськими поїздами [1] зі швидкістю руху до 120 км/год, що в умовах застосування денних прискорених та швидкісних експресів з урахуванням вимог безпеки руху поїздів не можливо використовувати при прискореному та швидкісному русі пасажирських поїздів.

Методики розрахунку коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими при звичайних швидкостях руху (до 120 км/год) відомі [2, 3, 4], але при застосуванні прискореного (120-160 км/год) та швидкісного (160-200 км/год) руху не можуть використовуватися із-за використання вимог безпеки руху пасажирських поїздів.

Методичною основою виконання комплексних досліджень є: аналітичний розрахунок коефіцієнтів зйому вантажних поїздів прискореними та пасажирськими поїздами; математичне моделювання залежностей коефіцієнту зйому від швидкості руху пасажирських поїздів та довжини блок-ділянок на перегонах; методи статистичної та аналітичної оцінки даних, щодо стану пропускної спроможності вантажних поїздів на залізничному напрямку.

Для оцінки пропускної спроможності залізничних напрямків при введенні на Укрзалізницю прискореного та швидкісного руху пасажирських поїздів в денний період доби [5] необхідно провести дослідження впливу коефіцієнтів зйому при різних швидкостях

пасажирських поїздів усіх категорій та різній довжині блок-ділянок на перегонах на пропускну спроможність залізничних напрямків [6, 7, 8], по яких обертаються поїзда, особливо на одноколіїних напрямках.

Вперше сформульовано і вирішено задачу залежності коефіцієнтів зйому вантажних поїздів прискореними та швидкісними поїздами на одноколіїних ділянках з двоколіїними вставками. Удосконалено математичну модель розрахунку пропускну спроможності одноколіїних напрямків з двоколіїними вставками, яка на відміну від існуючих, дозволяє визначити вплив прискореного та швидкісного руху пасажирських поїздів на пропускну спроможність в залежності від оперативної експлуатаційної ситуації.

Розроблені процедури і методи можуть бути використані при створенні автоматизованих систем підтримки прийняття рішень для оперативного розподілу поїздопотоків по залізничним напрямкам з паралельним ходом в умовах прискореного та швидкісного руху пасажирських поїздів, при розробці АРМ диспетчерського персоналу оперативно-розпорядчих відділів дирекцій та залізниць.

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є визначення впливу коефіцієнтів зйому вантажних поїздів прискореними та швидкісними пасажирськими поїздами на пропускну спроможність залізничних напрямків, та економічно обґрунтованих розмірів руху вантажних поїздів між ділянками залізничного напрямку з паралельними ходами при застосуванні в денний час доби швидкісного руху пасажирських поїздів на електрифікованих лініях в умовах оптового ринку електроенергії. Задачею дослідження є розподіл в оперативних умовах поїзної роботи при пропуску вантажних поїздів між ділянками залізничного напрямку з паралельними ходами.

4. Основна частина

Залізничний напрямок Знамянка – Одеса розділяється на два паралельних напрямки: Знамянка – Помічна (сумісний), Помічна – Колосівка – Одеса (головний) та Помічна – Котовськ – Роздільна – Одеса (паралельний). Основний та паралельний напрямки є частково двоколіїними, а на деяких ділянках – одноколіїні з двоколіїними вставками.

Паралельні напрямки характеризується різними розмірами руху пасажирських та вантажних поїздів по основному та паралельному напрямку. По основному напрямку в обертанні знаходяться 18 пар пасажирських поїздів, а по паралельному напрямку обертаються 2 пари пасажирських поїздів, що оказує вплив на графік руху поїздів відповідно: непаралельний та паралельний.

Розміри пасажирського руху приймаються як задані. Отже, розрахунок пропускну спроможності паралельних залізничних напрямків зводиться до визначення кількості вантажних поїздів, які можуть бути пропущені при заданій кількості пасажирських поїздів.

На основному напрямку залізничних перевезень Знамянка – Помічна – Колосівка – Одеса самою вантажонапруженою ділянкою є Помічна – Колосівка, на якій знаходяться 4 одноколіїні вставки, обладнані двостороннім автоблокуванням: Трикратне – Олександрівка, Вознесенськ – блокпост 1141 км, Висоцьке – Олійникове, Трикратне – пост 1113 км.

На паралельному напрямку залізничних перевезень Знамянка – Помічна – Котовськ - Роздільна – Одеса самою вантажонапруженою ділянкою є Помічна – Котовськ, на якій знаходяться 5 одноколіїних вставок, обладнані двостороннім автоблокуванням: Кінцель – Первомайськ, Врадіївка – Сирово, Любашівка – Заплази, Жеребкове – Балта, Балта – Обхідна.

Необхідно відзначити, що у зв'язку з тим, що на паралельному напрямку обертаються 2 пари пасажирських поїздів, графік руху поїздів характеризується як паралельний. На основному напрямку перевезень використовується непаралельний графік руху поїздів. З урахуванням [1] та концепцією переходу руху пасажирських поїздів на денний час слідування, велике значення набуває дослідження коефіцієнта зйому вантажних поїздів пасажирськими.

Розрахункова величина коефіцієнта зйому для звичайних швидкостей руху пасажирських поїздів [2, 3] складається з двох частин. Перша частина характеризується різницею часів ходу по розрахунковій ділянці пасажирського і вантажного поїзда (основний зйом - ϵ_{oc}). Друга частина обумовлюється некратністю інтервалів між попутними пасажирськими поїздами розрахунковим міжпоїзним інтервалам (додатковий зйом - $\epsilon_{дод}$).

На одноколіїних лініях з двоколіїними вставками основного напрямку перевезень організовується беззупинкове схрещення вантажних поїздів та обгін вантажних поїздів пасажирськими, коефіцієнти зйому для пасажирських (приміських) і прискорених вантажних поїздів, що мають більшу швидкість руху по ділянкам ніж вантажні визначаються за формулою [7]:

$$\epsilon_{np} = \epsilon_{oc} + \epsilon_{дод} = n_p - n_o + 0,5, \quad (1)$$

де n_p – розрахункова кількість обгонів вантажних поїздів на ділянці;

n_o – фактична кількість обгонів вантажних поїздів на ділянці.

Розрахункова кількість обгонів вантажних поїздів на ділянці визначається за формулою:

$$n_p = \frac{t_{ван}(1-\Delta)}{J_p} + 1, \quad (2)$$

де $t_{ван}$ – час ходу вантажного поїзда по розрахунковій ділянці, хв.;

Δ – середнє співвідношення чистого часу ходу пари поїздів, що мають більшу швидкість, ніж вантажні, і часу ходу пари вантажних поїздів на розрахунковій ділянці;

J_p – розрахунковий інтервал між попутними поїздами.

Фактична кількість обгонів вантажних поїздів на ділянці визначається за формулою:

$$n_0 = \frac{t_{\text{ван}}}{t_6}, \quad (3)$$

де t_6 – час ходу вантажного поїзда між обгонами, хв.

Час ходу вантажного поїзда між обгонами визначається за формулою:

$$n_6 = \frac{\tau_{\text{ис}} + t_{\text{уп}}}{1 - \Delta}, \quad (4)$$

де $\tau_{\text{ис}}$ – середній інтервал прибуття пасажирського поїзда за вантажним на станції обгону, хв.;

$t_{\text{уп}}$ – час уповільнення вантажного поїзда на перегоні перед станцією обгону, хв.

Середній інтервал прибуття пасажирського поїзда за вантажним на станції обгону визначається за формулою:

$$\tau_{\text{ис}} = \tau_{\text{ис}}^{\text{н}} (1 + \gamma), \quad (5)$$

де $\tau_{\text{ис}}^{\text{н}}$ – розрахунковий інтервал, хв.;

γ – коефіцієнт не ідентичності розташування перегонів.

Додаткове знімання пропускну спроможності обґрунтовується не кратністю інтервалу між пасажирськими поїздами розрахунковому інтервалу між вантажними поїздами. Він може змінюватися від 0 до 1. Фактична величина $\epsilon_{\text{дод}}$ носить імовірнісний характер; у розрахунках $\epsilon_{\text{дод}}$ приймається 0,5.

В умовах прискореного (від 120 до 160 км/год) та швидкісного руху пасажирських поїздів (від 160 до 200 км/год) дана методика розрахунку коефіцієнтів зйому підлягає уточненню відповідно до [9]. Вживання формул (1–5) недопустимо, оскільки вони не враховують умови безпеки пропуску прискорених та швидкісних поїздів по станціях під час обгону вантажних поїздів та беззупинкове схрещення прискорених та швидкісних поїздів з вантажними.

По-перше, це проведення перевірочних розрахунків існуючих довжин блок-ділянок обладнаних автоблокуванням за затвердженою методикою визначення їхньої довжини у відповідності до гальмових шляхів всіх категорій поїздів, що на максимально дозвільній швидкості будуть рухатися по швидкісній залізничній лінії [7].

Відповідність довжин блок-ділянок вимогам безпечної зони зближення поїздів у відповідності до довжини гальмового шляху найбільш швидкісних поїздів із збереженням значності сигналізації автоблокування (три-, чотиризначна).

У даному випадку необхідне перерахування (фактично збільшення) довжини блок-ділянок у відповідності до швидкості пасажирських поїздів до 200 км/год, вантажних - до 120 км/год. Але збільшення довжини блок-ділянок суттєво зменшить (принаймні, на 35 - 40%) пропускну спроможність перегонів і є економічно складною технічною задачею.

По-друге, при використанні існуючого пасажирського та вантажного рухомого складу із його рухом по швидкісних залізничних лініях за встановленими у відповідності до існуючих нормативних документів швидкостями [8] дозволити швидкісний рух (до 200 км/год) лише тому спеціалізованому

пасажирському рухомому складу, гальмовий шлях якого забезпечує безпечну зону зближення між сусідніми, які прямують в одному напрямку, поїздами за існуючими довжинами блок-ділянок (до 2,6 км) [6].

Коефіцієнт зйому ниток графіку пасажирськими поїздами на ділянках обладнаних автоблокуванням залежить від відстані ділянки, довжини блок-ділянок, часу ходу по блок-ділянці пасажирських та вантажних поїздів, станційних інтервалів по прибуттю та відправленню.

Інтервал по прибуттю поїздів на станцію при прискореному та швидкісному русі пасажирських поїздів встановлюється в залежності від швидкості проходження пасажирським поїздом міжстанційних перегонів відповідно [9] складає:

- для швидкості руху до 120 км/год – 6 хв.;
- для швидкості руху від 120 до 160 км/год – 20 хв.;
- для швидкості руху від 170 до 200 км/год – 30 хв.

В якості об'єкта дослідження розглянуті зміни коефіцієнту зйому вантажних поїздів пасажирськими на напрямку Знамянка – Одеса – Помічна – Колосівка.

На рис. 1 наведено загальну діаграму залежності коефіцієнту зйому вантажних поїздів пасажирськими при постійній швидкості вантажних поїздів та змінній швидкості пасажирських поїздів від 90 до 200 км/год. з урахуванням безпечних станційних інтервалів.



Рис. 1. Загальна діаграма зміни коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими при постійній дільничній швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год та змінній швидкості руху пасажирських поїздів

Проведені дослідження параметрів коефіцієнту зйому вантажних поїздів довели, що при не пакетному проложенні пасажирських поїздів його чисельна характеристика залежить від співвідношення швидкості руху вантажного і пасажирського поїзда та станційних інтервалів при обгонах та схрещеннях на станціях.

Різде збільшення значень коефіцієнтів зйому вантажних поїздів при швидкості 110 -120 км/год та 160 – 170 км/год визвано збільшенням станційних інтервалів перед проходженням пасажирським поїздом станції з обгоном. Для швидкості руху пасажирських поїздів від 110 до 160 км/год станційний інтервал по прибуттю складає 20 хв., при швидкості руху пасажирських поїздів від 160 до 200 км/год станційний інтервал по прибуттю складає 30 хв.

Проведені дослідження залежності коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок ділянок, яка змінюється від 1,0 до 2,6 км при постійній дільничній швидкості

вантажних поїздів 60 км/год. На рис. 2 наведено діаграму зміни коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок-ділянок при постійній швидкості вантажного поїзда 60 км/год, та швидкості пасажирських поїздів від 60 до 110 км/год.

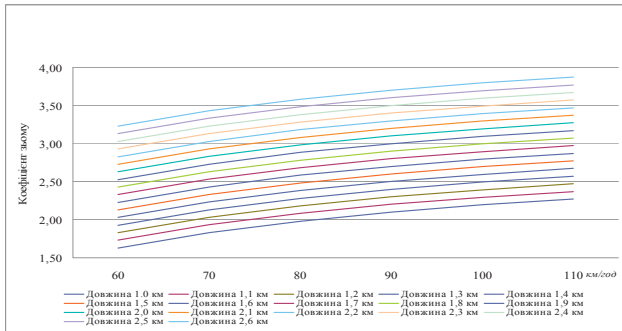


Рис. 2. Діаграма зміни коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок-ділянки при постійній швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год та швидкості руху пасажирських поїздів від 60 до 110 км/год

Проведеними дослідженнями встановлено, що коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими для швидкості руху до 120 км/год можливо розраховувати за формулою

$$\epsilon_{\text{пас}} = 0,3591 \ln(V_{\text{пас}}) + l_{\text{б/д}} + \epsilon_{\text{дод}} \quad (6)$$

де $l_{\text{б/д}}$ – довжина блок-ділянки, км;
 $V_{\text{пас}}$ – швидкість руху пасажирського поїзда, км/год, $V_{\text{ван}} = 60$ км / год,
 $\epsilon_{\text{дод}}$ – додатковий коефіцієнт зйому, $\epsilon_{\text{дод}} = 0,6$.

На рис. 3 наведено діаграму зміни коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок-ділянок при постійній швидкості вантажного поїзда 60 км/год та швидкості руху пасажирських поїздів від 120 до 160 км/год.

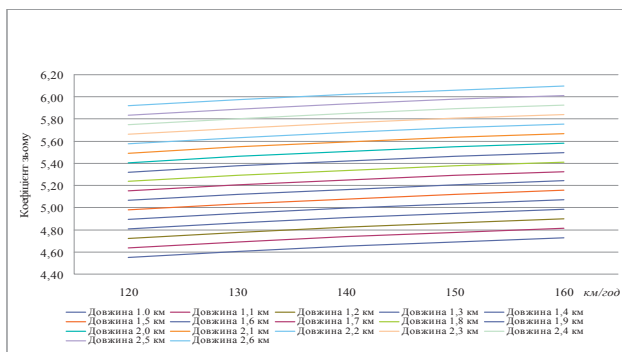


Рис. 3. Діаграма коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок-ділянки при постійній швидкості вантажних поїздів 60 км/год та швидкості руху пасажирських поїздів від 120 до 160 км/год

При прискореному русі пасажирських поїздів (від 120 до 160 км/год) та швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год і довжині блок-ділянок від 1,0 до 2,6 км та трьох секційному автоблокуванні і довжини

міжстанційного перегону 10 км коефіцієнт зйому має коливання від 4,5 до 6,1.

Проведеними дослідженнями встановлено, що коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими для прискореного руху можливо розраховувати за формулою

$$\epsilon_{\text{пас}} = 0,045 \cdot V_{\text{пас}} + l_{\text{б/д}} + \epsilon_{\text{дод}} \quad (7)$$

де $\epsilon_{\text{дод}}$ – додатковий коефіцієнт зйому, $\epsilon_{\text{дод}} = 3,4$.

На рис. 4 наведено діаграму зміни коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок-ділянок при постійній швидкості вантажного поїзда 60 км/год та швидкості руху пасажирських поїздів від 170 до 200 км/год.

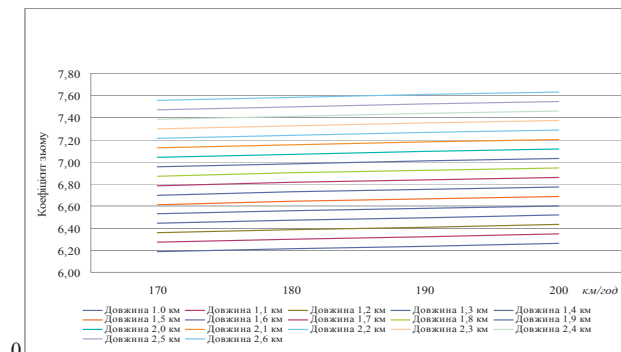


Рис. 4. Діаграма коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими в залежності від довжини блок-ділянки при постійній швидкості вантажних поїздів 60 км/год та швидкості руху пасажирських поїздів від 170 до 200 км/год

При швидкісному русі пасажирських поїздів (170 до 200 км/год) і швидкістю руху вантажних поїздів 60 км/год, та довжині блок-ділянок від 1,0 до 2,6 км при трьох секційному автоблокуванні і довжини міжстанційного перегону 10 км коефіцієнт зйому має коливання від 5,15 до 5,65.

Проведеними дослідженнями встановлено, що коефіцієнт зйому вантажних поїздів пасажирськими для прискореного руху можливо розраховувати за формулою

$$\epsilon_{\text{пас}} = 0,024 \cdot V_{\text{пас}} + l_{\text{б/д}} + \epsilon_{\text{дод}} \quad (8)$$

де $\epsilon_{\text{дод}}$ – додатковий коефіцієнт зйому, $\epsilon_{\text{дод}} = 5,2$.

Наведені формули розрахунку коефіцієнтів зйому вантажних поїздів пасажирськими можливо використовувати при розрахунках пропускної спроможності одноколійних залізничних напрямків з двохколійними вставками напрямку Знам'янка - Одеса.

Необхідно відмітити, що апроксимація коефіцієнту зйому при швидкостях вантажного поїзда 60 км/год та пасажирського поїзда від 60 до 110 км/год розраховується за логарифмічним законом розподілення, а при прискореному та швидкісному русі пасажирських поїздів – за лінійною формулою.

Отже, коефіцієнти зйому вантажних поїздів [10] різних категоріями пасажирських поїздів, як на одноколійних лініях, так і на одноколійних лініях з двохколійними вставками встановлюються залежно від

розмірів руху пасажирських поїздів за умови обгону останніми на ділянці вантажних поїздів.

Максимально можлива кількість вантажних поїздів, яка може бути пропущена по ділянці за добу при непаралельному графіку руху, визначається за формулою:

$$N_{\text{ван}} = N_{\text{нал}} - \epsilon_{\text{пс}}^{\text{шв}} N_{\text{пс}}^{\text{шв}} - \epsilon_{\text{пс}}^{\text{пр}} N_{\text{пс}}^{\text{пр}} - \epsilon_{\text{пс}} N_{\text{пс}}, \quad (9)$$

де $N_{\text{нал}}$ – наявна пропускна спроможність ділянки при паралельному графіку;

$\epsilon_{\text{пс}}^{\text{шв}}, \epsilon_{\text{пс}}^{\text{пр}}, \epsilon_{\text{пс}}$ – коефіцієнт знімання відповідно для швидкісних, прискорених та звичайних пасажирських поїздів;

$N_{\text{пс}}^{\text{шв}}, N_{\text{пс}}^{\text{пр}}, N_{\text{пс}}$ – кількість поїздів (пар поїздів) різних категорій.

5. Висновки

Проведеними дослідженнями встановлено, що при звичайній швидкості пасажирських поїздів (до

110 км/год) та постійній швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год коефіцієнт зйому складає від 1,6 до 3,8 в залежності від довжини блок-ділянок, яка може коливатися від 1,0 до 2,6 км. При прискореному русі пасажирських поїздів з швидкістю руху від 120 до 160 км/год та швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год при довжині блок-ділянок від 1,0 до 2,6 км та трьох секційному автоблокуванні і довжини міжстанційного перегону 10 км коефіцієнт зйому має коливання від 4,5 до 6,1.

При швидкісному русі пасажирських поїздів з швидкістю руху від 170 до 200 км/год та постійній швидкості руху вантажних поїздів 60 км/год та довжині блок-ділянок від 1,0 до 2,6 км при трьох секційному автоблокуванні і довжини міжстанційного перегону 10 км коефіцієнт зйому має коливання від 5,15 до 5,65.

Пропускна спроможність залізничного напрямку при введенні двох пар прискорених поїздів на добу зменшується на 9 – 10 пар вантажних поїздів, що складає для одноколієних ділянок з двоколієними вставками 15 – 22% на добу.

Література

1. Державна цільова програма впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки [Текст] / Розп. Каб. мін. України № 979-р від 31.12.2004 р.
2. Проблемы пропускной способности железных дорог Великобритании [Текст] // Журн. жел. дороги мира – 1999. – №1. С. 45–50.
3. Шапкин, И. Н. Организация железнодорожных перевозок на основе информационных технологий [Текст] : дис. д-ра. техн. наук: 05.22.08 / И. Н. Шапкин. – М., 2009. – 329 с.
4. Александров, А. Э. Расчет и оптимизация транспортных систем с использованием моделей (теоретические основы, методология) [Текст] : дис. д-ра. техн. наук: 05.22.08 / А. Э. Александров. – Екатеринбург, 2008 – 285 с.
5. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України [Текст] / К.: Транспорт України, 2002. – 36 с.
6. Бабаєв, М. М. Вплив швидкості руху поїздів на вимоги до інформаційного забезпечення локомотивних систем сигнального авторегулювання і пропускної здатності залізничних ліній [Текст] / М.М. Бабаєв, С.В. Кошевий, А.Є. Зайцев // 36. наук. пр. УкрДАЗТ – Харків: 2010, вип. 118, С. 12 – 21.
7. Лисенков, В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов [Текст]: учеб. для вузов / В. М. Лисенков. – М.: ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.
8. Лисенков В. М. Теория автоматических систем интервального регулирования [Текст] / В.М. Лисенков – М.: Транспорт, 1987. – 150 с.
9. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу [Текст]/ Затв. нак. УЗ від 12.07.02 № 360-Ц
10. Ивницкий, В. А. К проблеме увеличения количества твердых ниток графика движения поездов [Текст] / В. А. Ивницкий, И. Н. Шапкин, Е. М. Кожанов //Журн. Вестник ВНИИЖТ. – М., 2008. – №5. – С. 21 – 36.