

Ю. В. ЧИБІСОВ (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОПУСКНУ ТА ПРОВІЗНУ СПРОМОЖНІСТЬ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЛІНІЙ

В даній роботі розглянуто фактори, які впливають на пропускну та провізну спроможність залізничних ліній, а саме: маса та довжина поїздів, швидкість їх руху, ухил ділянок. Розглянуто витрати ресурсів на пропуск поїздів різної маси та при використанні різних типів локомотивів. Також розглянуто вплив підвищення маси поїздів на рівень використання пропускну спроможності залізничних ліній.

*Ключові слова:* пропускну спроможність, провізна спроможність, залізнична лінія, параметри поїздопотоків.

В данной работе рассмотрены факторы, которые влияют на пропускную и провозную способность железнодорожных линий, а именно: масса и длина поездов, скорость их движения, уклон участков. Рассмотрены расходы ресурсов на пропуск поездов разной массы и при использовании разных типов локомотивов. Также рассмотрено влияние повышения массы поездов на уровень использования пропускной способности железнодорожных линий.

*Ключевые слова:* пропускная способность, провозная способность, железнодорожная линия, параметры поездопотоков.

In this article there were researched the factors that influence onto the traffic and carrying capacity of the railway lines, namely: mass and length of the trains, the speed of their running, the grade of the lines. There were researched the charge of the resources connected with running the trains of different mass and with the use of different types of locomotives. There were also researched the influence of the mass and length increase on to the level of the traffic capacity usage.

*Key words:* traffic capacity, carrying capacity, railway line, trainflow parameters.

### Вступ

У зв'язку з необхідністю інтеграції транспортних мереж і транспорту України в міжнародну транспортну систему, а також з метою залучення додаткових обсягів перевезень, скорочення транспортних витрат і збільшення частки експортного потенціалу України на міжнародному ринку транспортних послуг, залізничний транспорт України повинен вийти на новий рівень транспортування вантажів і пасажирів з метою наближення до міжнародних стандартів перевезень, а також енергетичних та екологічних показників роботи транспорту.

Як повідомив начальник Головного комерційного управління Державної адміністрації залізничного транспорту України Ю. А. Меркулов, «Пропускну спроможність залізниць України – 100 млн. тонн вантажів щороку, минулого року ми перевезли 51 млн. тонн – лише 50%.» Це означає, що транспортна мережа України має резерв пропускну спроможності. У той же час, пропускну спроможність окремих ділянок основних напрямків перевезень, таких як Куп'янськ – Одеса, Харків – Джанкой, Знамянка – Джанкой та ін. майже вичерпана.

Це означає, що пропускну спроможність мережі залізниць використовується нерівномірно. Задача раціонального пропуску вантажопотоків

є комплексною і складною задачею, при вирішенні якої можна натрапити на суттєві труднощі, що пов'язані з цілим рядом проблем, в першу чергу із забезпеченням необхідної провізної та пропускну спроможності залізниць [1, 2].

### Фактори, які впливають на рівень використання пропускну спроможності

Відомо, що на пропускну спроможність залізничної лінії впливають багато факторів [3], такі як: кількість головних колій, засоби зв'язку, що діють на залізничній лінії, тип та потужність локомотивів, спосіб організації руху поїздів, структура поїздопотоків на лінії, швидкість руху поїздів, міжпоїзних інтервалів, величина вікон, що виділяються для ремонту колій, характеристики плану та профілю ділянок залізничної лінії, коефіцієнти зняття поїздів різних категорій, колійний розвиток роздільних пунктів даної залізничної лінії, тип графіку руху, та інші.

Оскільки залізнична лінія представляє собою складну, динамічну, стохастичну, ергатичну систему, то вона може бути представлена як складна система масового обслуговування (рис. 1), у якій потоки йдуть по коліях, станціях та роздільних пунктах [4].

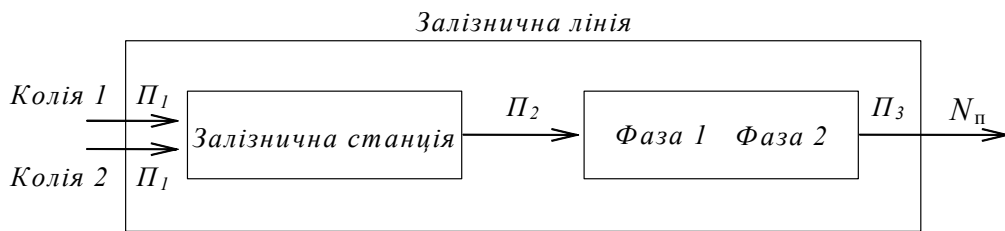


Рис. 1. Залізнична лінія як система масового обслуговування

Заходячи на станцію, потік обслуговується з відповідними параметрами обслуговування (може бути декілька каналів, а також декілька фаз обслуговування), а виходить потік з іншими параметрами, які, в свою чергу, впливають на пропускну спроможність залізничної лінії  $N_{п}$ .

Цілями даної системи є забезпечення перевезень вантажо- та поїздопотоків із заданою маршрутною швидкістю з мінімальними експлуатаційними витратами та при безумовному дотриманні безпеки руху. Підсистемами залізничної лінії є технічні станції та залізничні ділянки, елементами виступають колії перегонів, приймально-відправних та сортувальних парків станцій, горловини станцій, поїзди, локомотиви, вагони, працівники тощо. Залізничній лінії як системі властива багатокomпонентність, багатокритеріальність, високий динамізм поведінки.

### Вплив маси та довжини поїздів на провізну спроможність залізничної лінії

Розглянемо, як впливає маса та довжина поїздів на провізну спроможність залізничної лінії

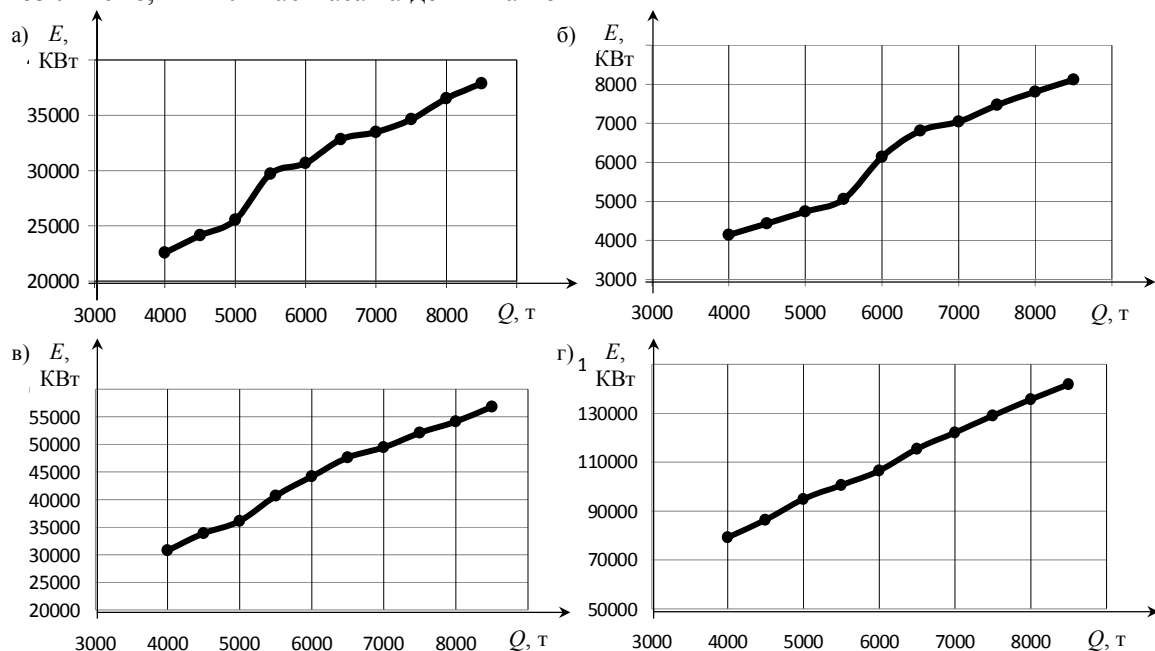


Рис. 2. Залежність витрат умовного палива (кВт) від маси поїздів на основних залізничних напрямках: а) Харків – Джанкой; б) Знам'янка – Джанкой; в) Куп'янськ – Одеса; г) Красна Могила – Львів.

Загалом, підвищення маси поїздів на цих напрямках дозволяє підвищити провізну спроможність ліній в середньому на 10-30 %. Але при цьому необхідно враховувати деякі обмеження. Збільшення маси поїздів практично однозначно викликає збільшення довжини поїздів. В умовах обмеження довжини поїздів стандартною довжиною приймально-відправних колій 850 м подальше збільшення маси поїздів не є можливим, адже середнє статичне навантаження вагонів в межах 65-75 т/ваг дозволяє приймати поїзди масою 3700-4300 т. Тому проблема підвищення маси поїздів тісно пов'язана із аналізом довжини існуючих приймально-відправних колій на основних напрямках руху поїздів Укрзалізниці.

Крім того, потужність локомотивів на деяких ділянках використовується максимально, а враховуючи вік локомотивів та їх знос, це може викликати додаткові проблеми.

### Вплив маси поїздів та ухилу ділянки на витрати ресурсів при їх пробігу

На величину витрат ресурсів при пропуску поїздів впливають витрати механічної роботи, тривалість руху поїзда, довжина ділянки, маса состава брутто, тип локомотива, вид тяги, витрати палива та витрати на заробітну платню машиністам. При необхідності оцінити економічні показники при пропуску поїздів можна використати принцип розрахунку витрат на переміщення поїздів, викладений в [9]. У відповідності з цією методикою, витрати по переміщенню поїздів (пробіг, розгін, уповільнення), а також простою рухомого складу можна визначити так:

$$C = R_{л} \cdot e_{R_{л}} + R_{c} \cdot e_{R_{c}} + R_{т} \cdot e_{R_{т}} + G \cdot e_{G'} + t(e_{\mu H} + e_{\mu h} + me_{nH} \cdot 10^3) + L(Me_{\mu S} \cdot 10^3 + me_{ns} \cdot 10^3 + (P+Q) \cdot e_{pl} \cdot 10^6) \quad (1)$$

де  $R_{л}$  – механічна робота локомотива, тис. т·км;

$R_{c}$  – механічна робота сил опору, тис. т·км;

$R_{т}$  – механічна робота сил гальмування, тис. т·км;

$G$  – витрати дизельного палива, т, чи електроенергії на вводах високої напруги тягових підстанцій, тис. кВт·год;

$t$  – час руху з урахуванням зупинок, год;

$m$  – кількість вагонів в составі;

$L$  – відстань пробігу, км;

$M$  – кількість локомотивів на один поїзд;

$(P+Q)$  – маса поїзда брутто, т;

$e_{R_{л}}, e_{R_{c}}, e_{R_{т}}$  – одиничні норми витрат, що відносяться на 1000 т·км механічної роботи відповідно сил тяги, опору, гальмування;

$e_{G'}$  – витрати на 1 т дизельного пального чи на 1000 кВт·год електроенергії;

$e_{\mu H}, e_{\mu h}, e_{nH}$  – одиничні норми витрат відповідно на 1 лок.-год, 1 бр.-год і на 1000 ваг.-год;

$e_{\mu S}, e_{ns}$  – одиничні норми витрат відповідно на 1000 локомотиво-км і вагоно-км;

$e_{pl}$  – одинична норма витрат на  $10^6$  т·км брутто.

Використання виразу (1) для розрахунку величини витрат ресурсів при пропуску поїздів є можливим, але даний вираз є досить громіздким, залежить від багатьох змінних факторів, та є важким для застосування. З метою підвищення точності отриманих результатів було удосконалено підхід до розрахунку величини витрат на 1 км пробігу поїздів на ділянках, що досліджувалися, для різних типів локомотивів з урахуванням ухилу та режиму тяги. У табл. 1 наведено вирази для розрахунку витрат, що пов'язані з пробігом 1 км вантажним поїздом, які було отримано для умов Дніпропетровського залізничного вузла [10].

Таблиця 1

Витрати, пов'язані з пробігом 1 км вантажним поїздом

Серія локомотива	Розрахункова формула
ТЕ3	$e_{ПК} = 1,2605 - 0,0919i - 0,1115Q + 0,0190i^2 + 0,0899Q^2 - 0,0010i^3 - 0,0073Q^3$
ТЕ10	$e_{ПК} = 0,5672 - 0,3825i + 0,2726Q + 0,0823i^2 + 0,0669Q^2 - 0,0044i^3 - 0,0089Q^3$
ВЛ8	$e_{ПК} = -1,4839 - 0,1179i + 1,6673Q + 0,0299i^2 - 0,2945Q^2 - 0,0017i^3 + 0,0199Q^3$
ВЛ10 (1 секція)	$e_{ПК} = -0,2169 - 0,2985i + 0,9332Q + 0,0631i^2 - 0,1320Q^2 - 0,0035i^3 + 0,0087Q^3$
ВЛ10 (2 секції)	$e_{ПК} = -0,1972 - 0,2673i + 1,3333Q + 0,1631i^2 - 0,1060Q^2 - 0,0055i^3 + 0,0185Q^3$

Отримані вирази дозволяють більш точно оцінювати величину витрат на пробіг поїздів у

вузлі (точність підвищено на 10-15% порівняно з існуючими підходами), див. рис. 3.

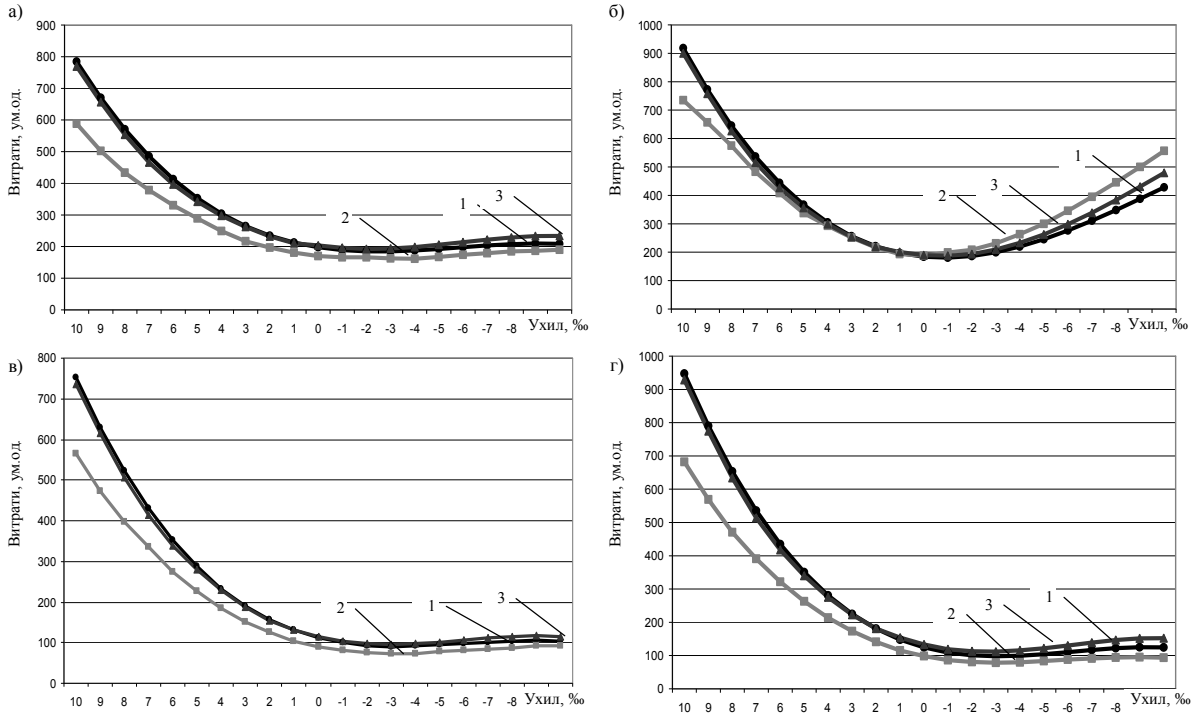


Рис. 3. Залежність величини витрат на пропуск поїздів при використанні різних типів локомотивів: а) електровоз ВЛ8; б) електровоз ВЛ10 (1 секція); в) електровоз ВЛ10 (2 секції); г) тепловоз 2ТЕ10. 1 – даний підхід; 2 – існуючий підхід; 3 – у відповідності до даних УЗ.

Таким чином, для визначення витрат з пробігу поїзда необхідно знати швидкість руху, масу бруто складу та ухил. Залежності вартості пропуску поїздів від довжини пробігу для різної маси бруто складу проілюстровано на прикладі Дніпропетровського залізничного ву-

зла на рис. 4.

Аналіз графіків на рис. 3 показав, що можна зробити висновок про те, що різниця вартості пропуску поїзда по одному і тому ж маршруту може коливатися в межах від 60 до 220 грн на один поїзд.

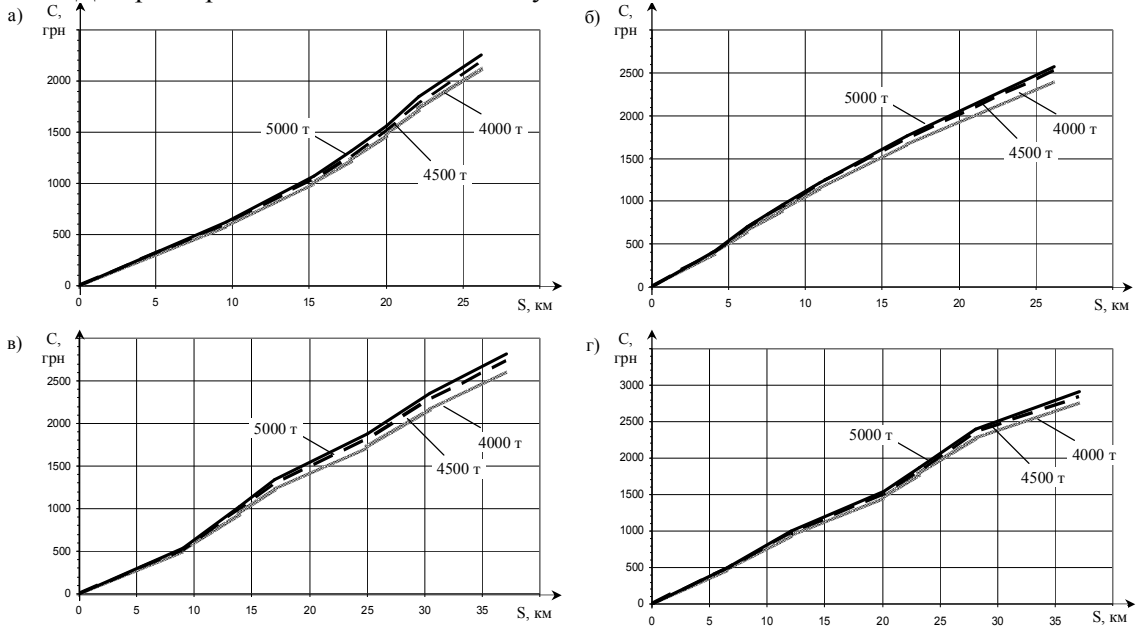


Рис. 4. Графік залежності вартості пропуску вантажного поїзда від довжини пробігу для різної маси бруто: а) в парному напрямку головний хід; б) в непарному напрямку головний хід; в) в парному напрямку паралельний хід; г) в непарному напрямку паралельний хід

## Вплив підвищення маси поїздів на рівень використання пропускної спроможності

Значне підвищення маси поїздів, крім підвищення використання ресурсів, може привести до зменшення дільничної швидкості, а відповідно і до збільшення тривалості руху поїздів по ділянках, що, в свою чергу, впливає на кількість пропущених поїздів, тобто на рівень використання пропускної спроможності. Детально вплив різних факторів на рівень використання пропускної спроможності залізничної

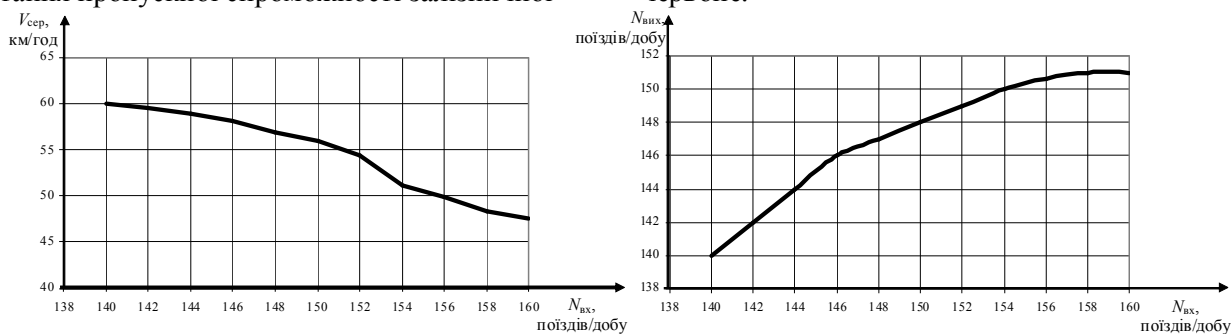


Рис. 5. Динаміка зміни показників при насиченні пропускної спроможності:  
а) залежність середньої швидкості руху поїзда від інтенсивності вхідного потоку;  
б) взаємозв'язок між інтенсивністю вхідного та вихідного потоку

Як відомо, допустимий коефіцієнт заповнення пропускної спроможності ділянок по регіонах складає: на двоколіїних ділянках 0,91; на ділянках з двоколіїними вставками – 0,87; на одноколіїних ділянках – 0,85. Але при виконанні моделювання пропуску поїздів, вдалося досягти рівня використання пропускної спроможності двоколіїної ділянки лише на 0,85. При подальшому збільшенні кількості поїздів на даному напрямку витрати, що пов'язані з пропуском поїздів, перевищували витрати на пропуск цих поїздів іншими паралельними напрямками. Таким чином, для кожної з ділянок необхідно з'ясувати величину раціонального заповнення, при перевищенні якої доцільно розглядати варіанти перерозподілу потоків поїздів по паралельних ділянках з метою мінімізації витрат.

Визначення раціональних параметрів поїздопотоків є складною оптимізаційною задачею, яка не отримала остаточного рішення і в даний час. Проблема підвищення конкурентоспроможності залізниць в області вантажних перевезень за рахунок управління параметрами поїздопотоків розглядається в роботі [17]. Задача визначення раціональних параметрів вантажних поїздопотоків на залізничних напрямках розглядається в цій роботі як задача векторної оптимізації із двома невідомими – масою  $Q$  (т) та довжиною поїздів  $m$  (ваг). Критерієм оптимізації по Парето виступають витрати учасників

лінії розглянуто в роботах [10-15]. Слід зазначити, що при насиченні пропускної спроможності відбувається різке падіння середньої швидкості руху (рис. 5, а), а при досягненні стану перенасичення будь-яке збільшення інтенсивності вхідного потоку знижує розмір вихідного потоку (рис. 5, б). Остання обставина має місце в тих випадках, коли з ростом кількості поїздів на ділянці швидко збільшується густина їх розміщення і слідування на зелене показання світлофора усе частіше змінюється на жовте та червоне.

логістичного ланцюгу вантажопотоків:

$$\begin{bmatrix} E_3(m, Q) \\ E_{кл}(m, Q) \end{bmatrix} \rightarrow \min \quad (2)$$

де  $E_3$  – витрати залізниці на переміщення поїздопотоків на напрямку;

$E_{кл}$  – витрати клієнтів, пов'язані із параметрами поїздопотоків.

## Висновки

1. На пропуску спроможність залізничної лінії, впливає безліч факторів, які залежать і від параметрів залізничної лінії, і від параметрів обслуговування поїздів на станціях. Описати їх взаємозв'язок аналітичними методами – неможливо, тому при дослідженні факторів, які мають вплив на рівень використання пропускної спроможності, доцільно використовувати імітаційні та ергатичні моделі залізничних напрямків та станцій.

2. Основними способами підвищення пропускної та провізної спроможності залізничних ліній є підвищення маси та довжини поїздів. Але це є важкою комплексною задачею, при вирішенні якої необхідно враховувати і обмеження стосовно корисної довжини станційних колій, і обмеження за силою тяги локомотивів, і можливе зниження дільничної швидкості поїздів, і безліч інших додаткових факторів.

3. З'ясовано, що при насиченні пропускної спроможності відбувається різке падіння середньої швидкості руху, а при досягненні стану перенасичення будь-яке збільшення інтенсивності вхідного потоку знижує розмір вихідного потоку. При виконанні моделювання пропуску поїздів, вдалося досягти рівня використання пропускної спроможності двоколіїної ділянки лише на 0,85. При подальшому збільшенні кількості поїздів на даному напрямку витрати, що пов'язані з пропуском поїздів, перевищували витрати на пропуск цих поїздів іншими паралельними напрямками.

4. Визначення раціональних параметрів поїздопотоків є складною оптимізаційною задачею, яка не отримала остаточного рішення. Задача визначення раціональних параметрів вантажних поїздопотоків на залізничних напрямках може бути представлена як задача векторної оптимізації із двома невідомими – масою  $Q$  (т) та довжиною поїздів  $m$  (ваг). Критерієм оптимізації по Парето виступають витрати учасників логістичного ланцюгу вантажопотоків.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сай, В. М. Повышение провозной способности напряженных участков железных дорог [Электронный ресурс] / В. М. Сай, Е. И. Жироухов. Режим доступа – [http://www.rostransport.com/pdf/nt\\_spec/22-25.pdf](http://www.rostransport.com/pdf/nt_spec/22-25.pdf)
2. Годяев, А. И. Оценка потенциально реализуемой пропускной способности железнодорожного участка [Текст] / А. И. Годяев // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – № 6. – С. 29-32.
3. Козлов, И. Т. Пропускная способность транспортных систем [Текст] / И. Т. Козлов – М.: Транспорт, 1985. – 216 с.
4. Божко, М. П. Основи теорії транспортних процесів і систем [Текст] : метод. вказівки / М. П. Божко, В. В. Журавель – Д.: ДІПТ, 2004. – 40 с
5. Музикіна, Г. І. Визначення заходів, необхідних для підвищення провізної спроможності залізниць України [Текст] / Г. І. Музикіна, Т. В. Болвановська, О. О. Мазуренко // Вісник ДНУЗТ. – 2008. – Вип. 26. – С. 23-27.
6. Козаченко, Д. М. Дослідження параметрів потоків поїздів на залізничних напрямках [Текст] / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 3/5 (45). – С. 17–21.
7. Козаченко, Д. М. Визначення раціональних параметрів поїздопотоків на залізничних напрямках [Текст] / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, О. О. Мазуренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 2/3 (50). – С. 40–45.
8. Мозолевич, Г. Я. Дослідження поїздопотоків Дніпроперовського залізничного вузла [Текст] / Г. Я. Мозолевич, Ю. В. Чибісов // Вісник НТУ

«ХП». – Х.: ХП, 2011. – Вип. 9. – С. 72–78.

9. Бобровский, В. И. Оценка расходов на передвижение поездов в проектируемых развязках железнодорожных линий с использованием имитационного моделирования [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1999. – № 2. – с. 48-51.

10. Чибісов, Ю. В. Вибір оптимальних маршрутів руху вантажних поїздопотоків у залізничному вузлі з урахуванням насиченості пропускної спроможності ділянок [Текст] / Ю. В. Чибісов // Зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр. ім. ак. В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень». – 2011. – Вип. 2. – С. 88-95.

11. Музикіна, Г. І. Дослідження впливу розмірів руху на показники роботи залізничної мережі [Текст] / Г. І. Музикіна, Ю. В. Чибісов // Сб. трудов 10-й Междун. конф. по транспорту и логистике – 2007. – С. 166.

12. Чибісов, Ю. В. Вибір маршрутів руху поїздів в умовах багатофакторності прийняття рішень [Текст] / Ю. В. Чибісов // Тези III Міжнар. наук.-практ. конф. «Інтеграція України в міжнародну транспортну систему». – Д.: ДІПТ, 2011. – С. 78-79.

13. Nesterenko, G. I. Optimal route selection when distributing the freight trainflow in the railway junction with the consideration of the level of the traffic capacity saturation / G. I. Nesterenko, Yu. V. Chibisov. // Вісник Східноукраїнського нац. унів. ім. В. Даля. – 2012. – № 3 [174]. – С. 138-143.

14. Чибісов, Ю. В. Підвищення ефективності пропуску поїздів на залізничній мережі [Текст] / Ю. В. Чибісов, І. О. Кулик // Тези 72-ї наук.-техн. студ. конф. «Науково-технічний прогрес на залізничному транспорті». – Д.: ДІПТ, 2012. – С. 16-17.

15. Нестеренко, Г. І. Вирішення задачі раціонального розподілу поїздопотоків у залізничному вузлі на основі векторної оптимізації [Текст] / Ю. В. Чибісов, Г. І. Нестеренко // Тези 72-ї Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д.: ДІПТ, 2012. – С. 140-141.

16. Мозолевич, Г. Я. Удосконалення технології пропуску поїздопотоків на паралельних напрямках та у залізничних вузлах [Текст] / Г. Я. Мозолевич, Ю. В. Чибісов // I Междунар. науч.-практ. конф. «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий» – Д.: ДІПТ, 2012. – С. 66-67.

17. Мозолевич, Г. Я. Підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту за рахунок управління параметрами вантажних поїздопотоків [Текст] / Г. Я. Мозолевич, Д. М. Козаченко, Ю. В. Чибісов, В. О. Мозолевич // Зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. ак. В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень». – Д. 2011. – Вип. 2. – С. 74–79.

Надійшла до редколегії 26.11.2012.

Прийнята до друку 28.11.2012.

