

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

ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ МАРШРУТІВ РУХУ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДОПОТОКІВ У ЗАЛІЗНИЧНОМУ ВУЗЛІ З УРАХУВАННЯМ НАСИЧЕНОСТІ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ДІЛЯНОК

Визначено витрати часу, витрати механічної роботи та вартість пропуску вантажних поїздів різної маси по ділянках Дніпропетровського залізничного вузла. Виконано дослідження впливу завантаженості ділянок вузла на основні показники руху поїздів. Встановлено величину раціонального заповнення головного ходу Дніпропетровського залізничного вузла.

Ключові слова: залізничний вузол, параметри поїздопотоків, раціональні маршрути пропуску поїздів

Определены затраты времени, механической работы и стоимость пропуска грузовых поездов разной массы по участкам Днепропетровского железнодорожного узла. Выполнены исследования влияния загрузки участков узла на основные показатели движения поездов. Определена величина рационального заполнения главного хода Днепропетровского железнодорожного узла.

Ключевые слова: железнодорожный узел, параметры поездопотоков, рациональные маршруты пропуску поездов

There were determined the expenditures of time, mechanical work and cost of the running trains with different mass that pass Dnepropetrovsk railway junction. There was researched the influence of the railway line load onto the main indexes of the train running. The value of the rational load of the main trespass of Dnepropetrovsk railway junction was determined.

Key words: railway junction, trainflow parameters, rational routes of the train advancing

Вступ

Проблема формування ефективних механізмів прийняття та впровадження управлінських рішень, направлених на раціональне використання засобів транспорту та ресурсів, є досить актуальною в умовах функціонування ринкової економіки. Вибір критеріїв прийняття рішень є важкою задачею, вирішення якої може забезпечити значні економічні переваги перед іншими видами транспорту та підвищити конкурентоспроможність та привабливість залізничного транспорту. Вибір оптимальних маршрутів пропуску поїздів являє собою складну багатокритеріальну задачу, яка на даний момент не отримала кінцевого рішення. На даний момент ця задача покладена на плечі диспетчерського та управлінського персоналу і немає чіткого алгоритму, яким можна користуватися при виборі оптимальних маршрутів.

Постановка задачі

Метою даної роботи є визначення оптимальних маршрутів руху поїздопотоків у межах залізничного вузла за допомогою математично-

го алгоритму, що враховує «оптимальність» маршруту одночасно за двома критеріями [1].

В якості критеріїв оптимальності маршрутів пропуску поїздопотоків можуть бути обрані наступні: довжина маршруту, тривалість руху, витрати механічної роботи на рух поїзда, вартість пропуску поїздів, засоби зв'язку на ділянці, пропускна спроможність ділянки, завантаженість лінії та ін. Для вирішення задачі вибору раціональних маршрутів руху поїздів серед вищезазначених обрано наступні критерії оптимальності: тривалість руху поїзда по ділянці та витрати механічної роботи при русі поїзда. Вибір критеріїв здійснено з таких міркувань: тривалість руху поїзда визначає тривалість доставки вантажу, яка є доступною та зрозумілою величиною для клієнтів залізниці; витрати механічної роботи при русі поїзда визначають експлуатаційні витрати залізниці, що є необхідною інформацією безпосередньо при визначенні вартості доставки вантажу. Таким чином, для реалізації задачі вибору оптимальних маршрутів пропуску поїздів у вузлі необхідно визначити витрати часу та витрати механічної роботи на пропуск вантажних поїздів різної маси по ділянках вузла.

Визначення витрат часу та витрат механічної роботи на пропуск поїздів

Для визначення показників руху поїздів зазвичай використовуються в якості моделі диференційні рівняння руху поїзда (тягові розрахунки). При виконанні вказаних розрахунків виникає проблема вибору режимів руху поїзда, від яких суттєво залежать показники руху [2]. Також необхідно враховувати типи локомотивів, параметри составів та інші показники. Розрахунки можна виконувати на моделі руху поїзда [3], що заснована на чисельному інтегруванні рівняння руху поїзда, в якій передбачена

можливість урахування обмежень швидкості в кривих в залежності від їх параметрів, детальне рішення гальмівної задачі при близькому розташуванні декількох ділянок обмеження швидкості. Для виконання дослідження обираємо модель, описану в [4–5], яка адаптована для умов моделювання і дозволяє фіксувати швидкість та тривалість руху поїзда по перегону, витрати механічної роботи локомотиву, сил опору руху, роботи на гальмування поїзда, а також витрати палива або електроенергії. Дослідження проводилися на прикладі Дніпропетровського залізничного вузла, схема якого наведена на рис. 1.

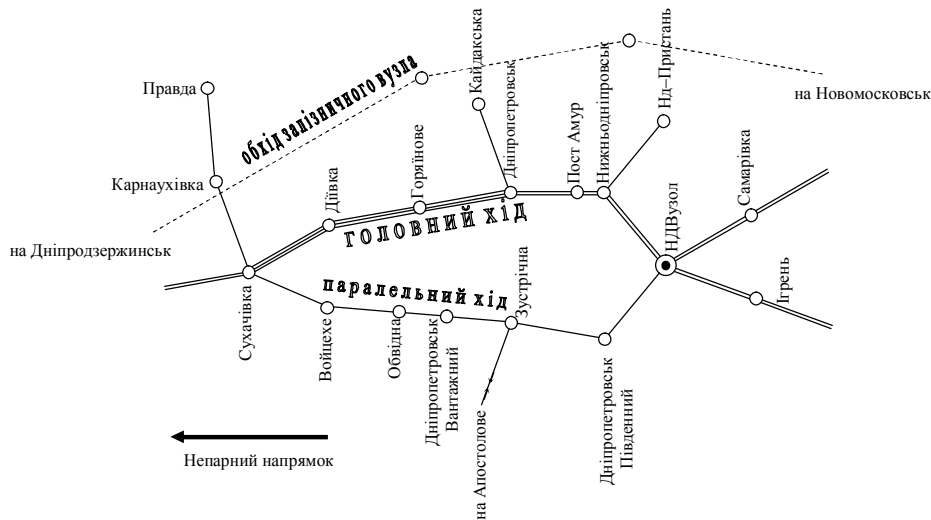


Рис. 1. Схема залізничного вузла Дніпропетровська

Для визначення витрат часу та витрат механічної роботи на пропуск вантажних поїздів різної маси по ділянках залізничного вузла було виконано дослідження процесу пропуску поїздів на зазначеній імітаційній моделі. По

результатам досліджень було побудовано графіки залежності тривалості руху поїзда від довжини ділянки $T = f(S)$ для різного напрямку та ходу слідування поїзду (рис. 2).

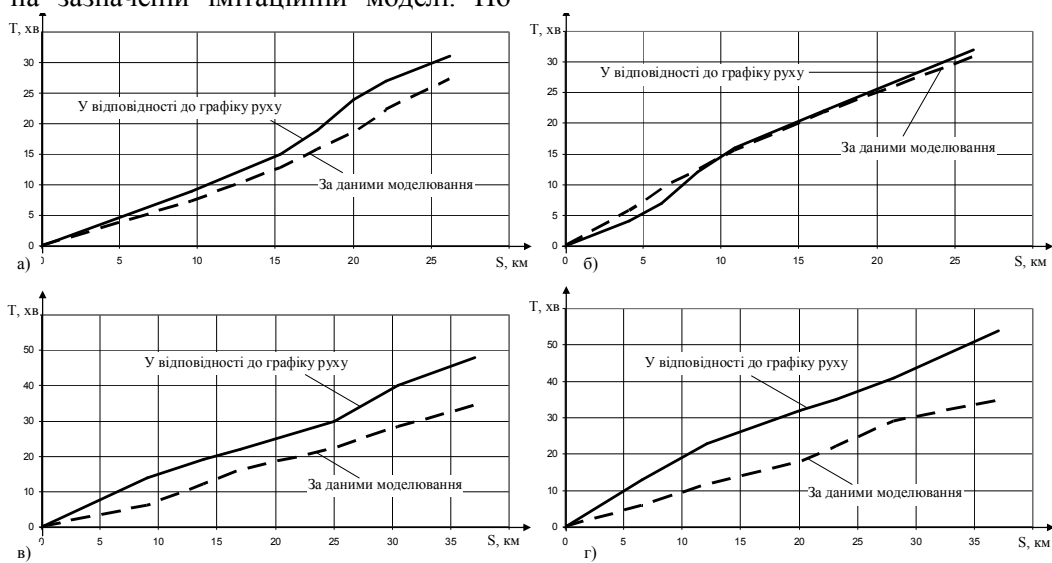


Рис. 2. Графік залежності тривалості руху поїздів від довжини ділянки
а) в парному напрямку головного хіда; б) в непарному напрямку головного хіда;
в) в парному напрямку паралельного хіда; г) в непарному напрямку паралельного хіда

Аналіз отриманих залежностей показав, що тривалість руху поїздів, яка закладається до графіку руху, завищена, особливо це стосується одноколіїної ділянки Дніпропетровського залізничного вузла. За умови нормального функціонування засобів регулювання руху поїздів, та за відсутності обмежень швидкості руху, можна стверджувати, що тривалість руху поїзда паралельною (одноколіїною) ділянкою зі станції Сухачівка до станції Нижньодніпровськ–Вузол майже на 15 хв менша, ніж у відповідності до графіку (34,4 хв замість 48 хв), а у зворотному напрямку цією ж ділянкою – майже на

20 хв менша (34,8 хв замість 54 хв). Крім того, різниця у часі, за який поїзд може дійти до станції Нижньодніпровськ–Вузол до станції Сухачівка одноколіїною та головною ділянкою відрізняється несуттєво (відповідно 34,8 хв та 30,8 хв). При різниці майже в 11 км (37,1 км 26,2 км) різницею у часі руху 4 хв можна знехтувати.

Також за результатами моделювання побудовано графіки залежності витрат механічної роботи при різній масі поїзду брутто, які наведено на рис. 3.

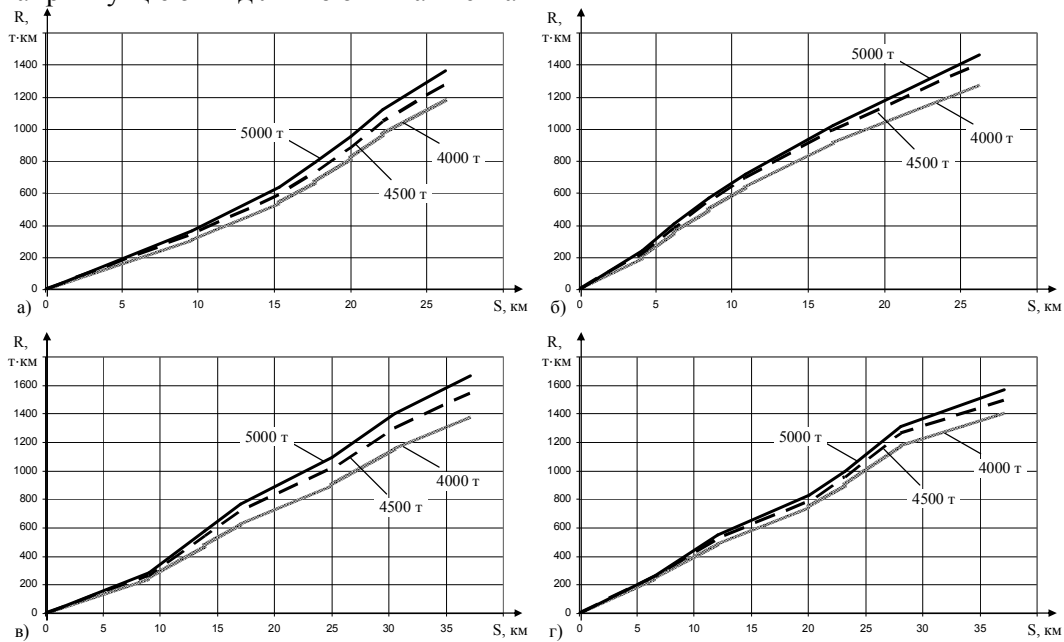


Рис. 3. Графік залежності витрат механічної роботи при русі поїздів від довжини пробігу а) в парному напрямку головний хід; б) в непарному напрямку головний хід; в) в парному напрямку паралельний хід; г) в непарному напрямку паралельний хід

Проаналізувавши залежності, наведені на рис. 3, можна зробити висновок, що при збільшенні маси брутто поїздів, що пропускаються по ділянках, має місце більший розкид витраченої механічної роботи, який особливо помітний на одноколіїній ділянці вузла.

Отже, якщо оцінити середню величину витрат механічної роботи на рух поїзда із розрахунку на 1 км пробігу, то отримаємо наступні результати, які наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Середня величина витрат механічної роботи у т-км на 1 км пробігу вантажного поїзду

Хід	Напрямок	Маса брутто вантажного поїзду, т		
		4000	4500	5000
головний	парний	45,3	48,9	52,0
паралельний	парний	37,2	41,5	45,0
головний	непарний	48,9	53,8	56,0
паралельний	непарний	38,0	40,3	42,2

Аналіз отриманих значень показав, що при пропуску вантажних поїздів одноколіїною ділянкою Дніпропетровського залізничного вузла середня величина витрат механічної роботи на

1 км пробігу менша, ніж головним ходом вузла. Ця інформація може бути корисною при виборі оптимального варіанту пропуску поїздів у вузлі.

Визначення вартості пробігу поїздів

При необхідності оцінити економічні показники при пропуску поїздів можна використати принцип розрахунку витрат на переміщення поїздів, викладений в [6]. У відповідності з цією методикою, витрати по переміщенню поїздів (пробіг, розгін, уповільнення), а також простою рухомого складу можна визначити так:

$$C = R_{л} \cdot e_{R_{л}} + R_c + e_{R_c} + R_T + e_{R_T} + G + e_G + t(e_{\mu H} + e_{\mu h} + me_{nH} \cdot 10^3) + L(Me_{\mu S} \cdot 10^3 + me_{nS} \cdot 10^3 + (P + Q)e_{pl} \cdot 10^6) \quad (1)$$

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

R_c – механічна робота сил опору, тис. т·км;

R_T – механічна робота сил гальмування, тис. т·км;

тис. т·км;

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

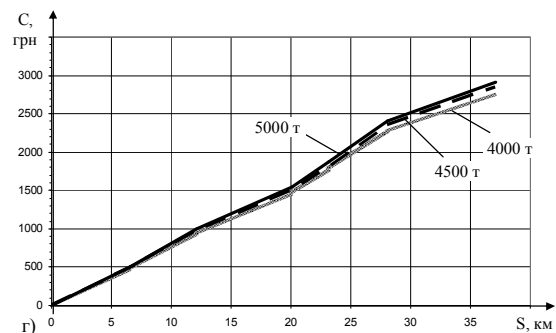
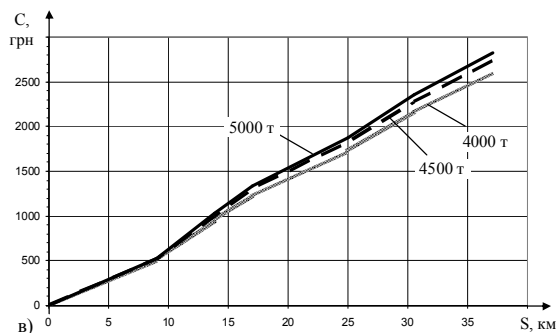
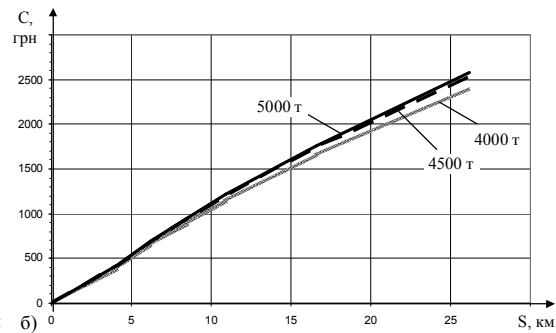
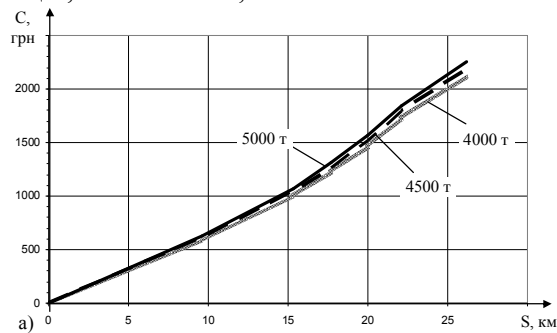


Рис. 4. Графік залежності вартості пропуску вантажного поїзда від довжини пробігу для різної маси бруто
а) в парному напрямку головний хід; б) в непарному напрямку головний хід;
в) в парному напрямку паралельний хід; г) в непарному напрямку паралельний хід

Аналіз графіків на рис. 4 показав, що вартість пропуску поїздів пропорційна величині витрат механічної роботи. Крім того, можна зробити висновок, що різниця вартості пропуску поїзда по одному і тому ж маршруту може коливатися в межах від 60 до 220 грн. на один поїзд. Слід зазначити також, що вартість пропуску поїзда вагою 5000 т у непарному напрямку

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 бруто, т;

$e_{R_{л}}$, e_{R_c} , e_{R_T} – 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 локомотиво-год, 1 бригадо-год і на 1000 вагоно-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 бруто.

Залежності вартості пропуску поїздів від довжини пробігу для різної маси бруто составу наведено на рис. 4.

ку головною ділянкою не набагато перевищує вартість пропуску непарного поїзда масою бруто 4000 т одноколійною ділянкою.

Ця інформація може бути корисною при виборі маршруту пропуску поїздів у часи насиченого підходу, збільшення кількості поїздів під час літнього графіку, або закриття навіть однієї колії перегону основного ходу, тобто під час

зниження пропускної спроможності головної ділянки вузла. У такому випадку частину поїздів невеликої ваги доцільно пропускати паралельним ходом через станцію Дніпропетровськ-Південний.

Аналіз зміни показників руху при насиченні пропускної спроможності

Але, зазвичай, при виконанні досліджень в моделях розглядається одиничний поїзд, а при визначенні показників не враховується наявність на лінії попередніх поїздів. У дійсності, режими руху поїздів у потоці суттєво залежать від його інтенсивності [7–9], а відповідно і показники руху будуть суттєво відрізнятися. В цьому випадку розрахунки необхідно виконувати на імітаційній моделі ділянки, що дозволяє імітувати пропуск потоку поїздів [5]. Саме така

модель використана для досліджень. На даній моделі була здійснена серія експериментів з варіюванням інтенсивності вхідного потоку від 140 до 160 поїздів на добу, в якій швидкість була реалізована з точністю 5 %. В ході експериментів фіксувалося: час руху кожного поїзду, здійснена ним робота, витрати палива.

Встановлено, 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, слідування на зелене показання світлофора усе частіше змінюється не жовте та червоне.

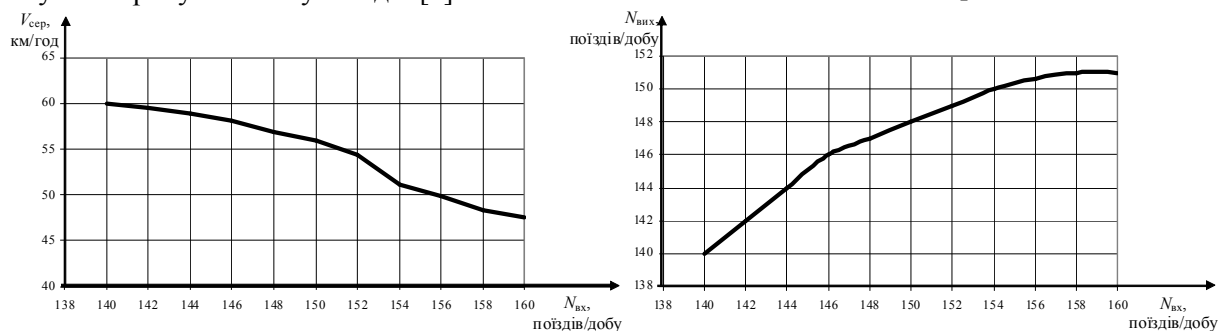


Рис. 5. Реакція ділянки при насиченні пропускної спроможності
а) залежність середньої швидкості руху поїзда від інтенсивності вхідного потоку;
б) взаємозв'язок між інтенсивністю вхідного та вихідного потоку

Таким чином, для кожної з ділянок необхідно з'ясувати величину раціонального заповнення, при перевищенні якої доцільно розглядати варіанти перерозподілу потоків поїздів по паралельних ділянках, при цьому можна сподіватися, що це приведе до мінімізації витрат.

Вибір раціональної кількості поїздів на ділянці

Як видно зі схеми залізничного вузла (рис. 1), альтернативним маршрутом пропуску поїздів зі станції НД-Вузол до станції Сухачівка може бути одноколійна ділянка вузла через станцію Дніпропетровськ-Південний. Розглянемо можливість перерозподілу частини поїздів з головної ділянки на одноколійну ділянку.

Оптимізаційна задача полягає у пошуку таких значень поїздопотоку по маршрутам, які одночасно забезпечують мінімальні значення тривалості руху (t) та витрат механічної роботи

(R) за умови виконання обмежень з пропускної спроможності ділянок.

Враховуючи те, що показники руху поїздів по ділянці (середня швидкість руху поїзда, тривалість руху, витрати механічної роботи, середня вартість пропуску одного поїзда, та ін.) залежать від насиченості ділянки поїздами, необхідно виконати аналіз зміни таких показників в залежності від величини вхідного потоку. Такий аналіз виконано для тієї ділянки, яка найбільше використовується, тобто для головного ходу залізничного вузла. Прийнято, що паралельний (одноколійний) хід залізничного вузла має резерв пропускної спроможності, а насиченість ділянок є такою, що не впливає на зростання показників руху. Аналіз зміни середньої тривалості руху поїзда та величини витрат механічної роботи від вхідного потоку наведено на рис. 6.

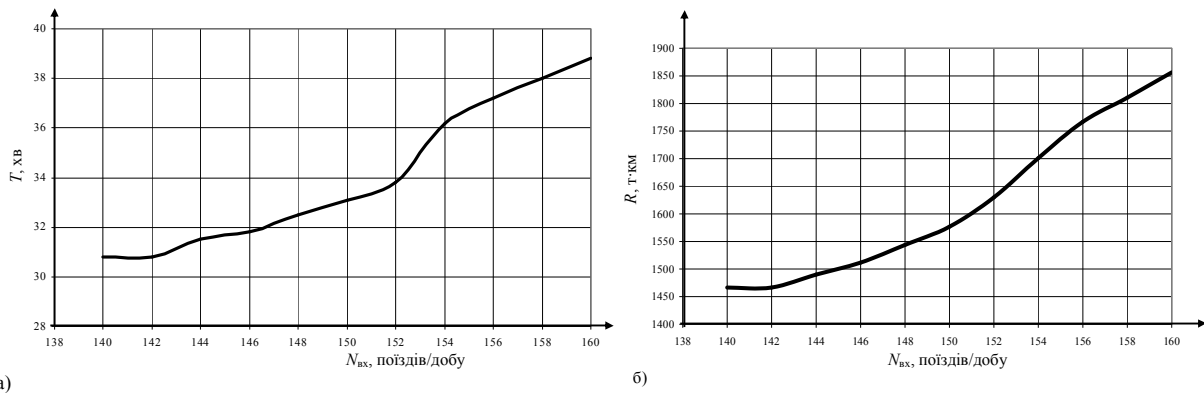


Рис. 6. Аналіз залежності зміни показників руху від величини вхідного потоку по головному ходу Дніпропетровського залізничного вузла

- а) залежність середньої тривалості руху поїзда від вхідного потоку;
 б) залежність величини витрат механічної роботи від вхідного потоку

Таким чином, можна висунути гіпотезу про те, що існує така раціональна кількість поїздів на даному напрямку, при перебільшенні якої середня тривалість руху поїзда від станції НДВузол до станції Сухачівка головним ходом буде більшою за аналогічну тривалість паралельним (одноколіїним) ходом вузла. Те ж стосу-

ється і витрат механічної роботи. При виконанні моделювання кількість поїздів за добу варіювалася від 140 до 160 з кроком 2. В ході експериментів фіксувалася середня тривалість ходу поїзда та середня величина витрат механічної роботи. Результати моделювання наведено у табл. 2 та на рис. 7.

Таблиця 2

Показники пропуску поїздів при насиченні пропускнуої спроможності у межах Дніпропетровського залізничного вузла

№ варіанту	Напрямок пропуску поїздопотоку Величина поїздо-потоку, поїздів/добу	Основний		Паралельний	
		T , хв	R , т·км	T , хв	R , т·км
0	0...60	–	–	34,8	1566,95
1	140	30,80	1466,45	–	–
2	142	30,80	1466,45	–	–
3	144	31,50	1496,38	–	–
4	146	31,80	1511,80	–	–
5	148	32,50	1543,63	–	–
6	150	33,10	1576,83	–	–
7	152	33,80	1611,48	–	–
8	154	36,20	1725,24	–	–
9	156	37,20	1766,81	–	–
10	158	38,00	1810,43	–	–
11	160	38,80	1856,27	–	–

Варіант «0» передбачає пропуск поїздопотоку по паралельному (одноколіїному) ходу через станцію Дніпропетровськ-Південний. Варіанти з 1 по 11 – пропуск поїздопотоку від 140 до 160 поїздів/добу основним ходом. Візуально оцінити граничну завантаженість ділянки поїздами можна з рис. 7.

З рисунку видно, що «кращими» за варіант «0» є варіанти, що лежать нижче і лівіше на

графіку, тобто варіанти 1, 2, 3, 4 та 5, що відповідають кількості поїздів 140, 142, 144, 146 та 148 поїздів за добу. Решта варіантів «гірші», тобто варіант 5, що відповідає величині поїздопотоку 148 поїздів/добу, є граничним. При перебільшенні цієї величини поїзди доцільно пропускати паралельним ходом, тобто через станцію Дніпропетровськ-Південний.

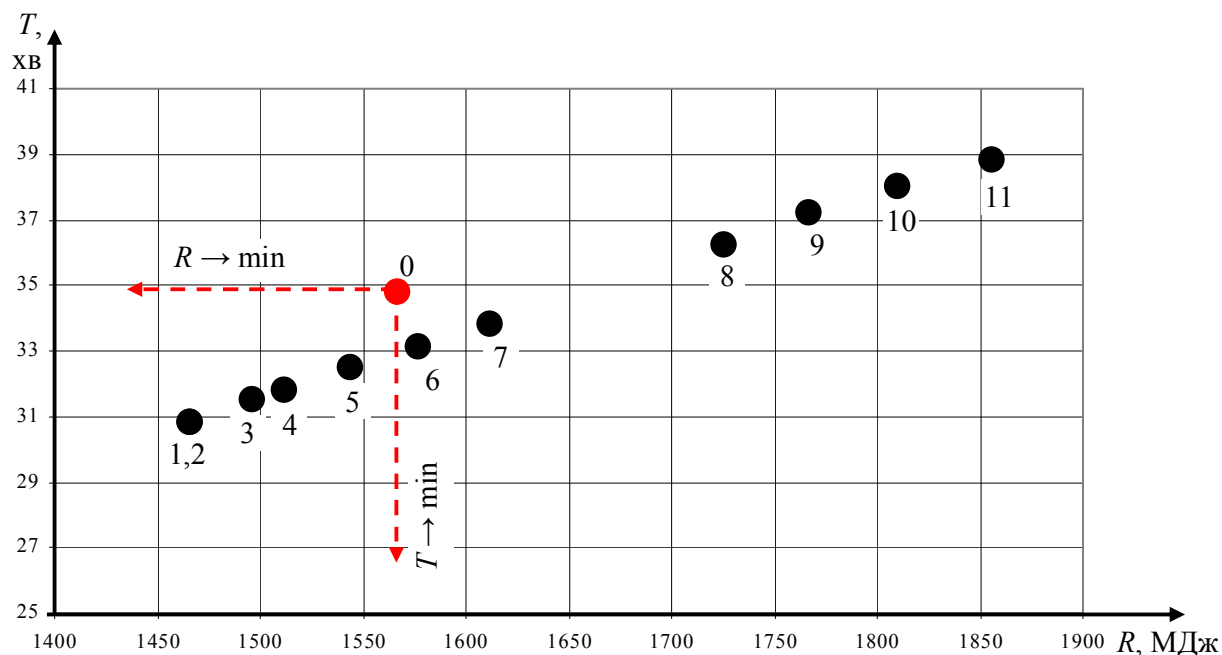


Рис. 7. Порівняння варіантів розподілу потоку поїздів у векторній площині

Висновки

1. Визначено витрати часу та витрати механічної роботи на пропуск вантажних поїздів різної маси по ділянках Дніпропетровського залізничного вузла. Аналіз отриманих залежностей показав, що тривалість руху поїздів, яка закладається до графіку руху, завищена, особливо це стосується одноколійної ділянки Дніпропетровського залізничного вузла. Визначено вартість пропуску вантажних поїздів різної ваги по ділянкам Дніпропетровського залізничного вузла. З'ясувалося, що величина витрат пропорційна загальній величині витрат механічної роботи. Вартість пропуску поїзда вагою 5000 т у непарному напрямку головною ділянкою не набагато перевищує вартість пропуску непарного поїзда масою бруто 4000 т одноколійною ділянкою.

3. Виконано дослідження впливу завантаженості ділянок залізничного вузла на основні показники руху поїздів у вузлі. Встановлено, що при насиченні пропускної спроможності відбувається різке падіння середньої швидкості руху. Для кожної з ділянок необхідно з'ясувати величину раціонального заповнення, при перевищенні якої доцільно розглядати варіанти перерозподілу потоків поїздів по паралельних ділянках.

4. Встановлено величину раціонального заповнення головного ходу Дніпропетровського залізничного вузла. Ця величина склала 148 поїздів/добу.

5. Отримані результати можуть бути корисними при виборі маршруту пропуску поїздів у часи насиченого підходу, збільшення кількості поїздів під час літнього графіку, або закриття навіть однієї колії перегону, тобто під час зниження пропускної спроможності головної ділянки вузла. З економічної точки зору це допоможе зменшити експлуатаційні витрати, що пов'язані з пропуском вантажних поїздів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Босов, А. А. Визначення раціональних маршрутів руху поїздів на мережі доріг [Текст] / А. А. Босов, Ю. В. Чибісов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34 – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 180-188.
2. Изыскания и проектирование железных дорог / Под ред. И. В. Турбина. – М.: Транспорт, 1989. – 479 с.
3. Таль, К. К. Руководство по определению на ЭЦВМ БЭСМ - 2М расходов по передвижению поездов в узлах. [Текст] / ЦНИИС. – М., 1966 – 217 с.
4. Бобровский, В. И. Имитационная модель развязки линий в железнодорожном узле [Текст] / В. И. Бобровский // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. пр. – 1999. – Вип. 38. – Харків: ХарДАЗТ, 1999. – С. 35-42.
5. Бобровский, В. И. Моделирование системы управления пропуском поездов через пересечения [Текст] / В. И. Бобровский // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. пр. – 1998. – Вип. 33. – Харків: ХарДАЗТ, 1998. – С. 71-79.

6. 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.

7. Самкнулов, А. И. Определение времени хода поездов на однопутных линиях. [Текст] / А. И. Самкнулов // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвуз. сб. научн. тр. – Гомель. БелИИЖТ, 1982. – С. 69 - 71.

8. Левин, Д. Ю. Оптимизация потоков поездов [Текст] / Д. Ю. Левин. – М.: Транспорт, 1988. – 175 с.

9. Автоматизация процесса разработки и проектирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: отчет о НИР / ЛИИЖТ. – Л., 1988. – 42 с.

10. Левин, Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом [Текст]: монография / Д. Ю. Левин. – М.: УМЦ ЖДТ, 2008 – 625с.

11. Устич, П. А. Управление транспортом на основе математического моделирования [Текст] / П. А. Устич, А. А. Иванов // Железнодорожный транспорт – 2008. – № 7. – С. 39-42.

Надійшла до редколегії 14.11.2011.

Прийнята до друку 16.11.2011.