

УДК 005:656.072

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.154.2015.65620>

## МОДЕЛЮВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДОПОТОКІВ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ МАГІСТРАЛЕЙ

Канд. техн. наук О.В. Розсоха, магістрант В.М. Солонець

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОПОТОКОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Канд. техн. наук А.В. Розсоха, магистрант В.Н. Солонец

## THE MODELLING OF FLOWS OF PASSENGER TRAINS OF HIGH-SPEED RAILWAYS

Cand. of tehn. sciences A. Rozsokha, master student V. Solonets

*У статті подано удосконалену математичну модель оптимального розподілу потоку пасажирських поїздів високошвидкісних магістралей на полігоні залізниці. У якості критерію оптимальності обрано максимальний прибуток пасажирської компанії при організації руху високошвидкісних поїздів на даному полігоні. Розроблена математична модель базується на комплексному підході з урахуванням пасажиропотоку, робочого парку вагонів у складах високошвидкісних поїздів, обмежень переробної спроможності проміжних станцій по маршруту руху поїздів.*

**Ключові слова:** пасажирські перевезення, план формування пасажирських поїздів, оптимізація.

*В статье представлена усовершенствованная математическая модель оптимального распределения потока пассажирских поездов высокоскоростных магистралей железных дорог на полигоне. В качестве критерия оптимальности выбрана максимальная прибыль пассажирской компании при организации движения высокоскоростных поездов на данном полигоне. Разработанная математическая модель базируется на комплексном подходе с учетом пассажиропотока, рабочего парка вагонов в складах высокоскоростных поездов, ограниченный перерабатывающей способности промежуточных станций по маршруту движения поездов.*

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, план формирования пассажирских поездов, оптимизация.

*The article presents a mathematical model of optimal flow distribution of passenger trains of high-speed Railways on the ground of Railways. As optimality criterion selected maximum profit passenger company in the organization of high-speed trains on this site. A mathematical model was developed based on an integrated approach with regard to passenger traffic, the working fleet of cars in trains, high speed trains, constraints to capacity of the intermediate stations along the route of the trains.*

**Key words:** passenger transport, plan for the formation of passenger trains, optimization.

**Вступ.** Значна економічна та соціальна ефективність високошвидкісних залізничних магістралей (ВШМ), їх невеликий негативний вплив на навколишнє середовище порівняно з іншими видами транспорту в розвинених країнах виробили думку суспільства на їхню користь. Висока ефективність високошвид-

кісного залізничного транспорту сприяє його розвитку як у Російській Федерації, так і в Україні.

**Постановка проблеми.** Сучасні тенденції на ринку транспортних послуг з перевезення пасажирів полягають у зменшенні ролі залізничного та підвищенні значення

автомобільного і повітряного транспорту. Тому важливо здійснювати заходи на рівні держави в питаннях підвищення привабливості залізничних перевезень пасажирів шляхом впровадження та удосконалення ВШМ.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Значний вклад у розвиток теорії ефективної організації пасажирських перевезень внесли Н.І. Бещева, Т.В. Бутко, П.С. Грунтов, В.Я. Негрей, Ф.П. Кочнев, М.В. Правдін, М.Я. Стефанов, М.П. Іхненко, Ю.О. Пазойський та ін. [1, 2].

Існуючі методи визначення розмірів руху пасажирських поїздів, розроблені вищезазначеними авторами, були спрямовані для поїздів звичайних магістралей залізниць. Оптимізаційним розрахункам щодо визначення поїздопотоків ВШМ увага майже не приділялась.

**Формулювання мети (постановка завдання).** Метою даних досліджень є підвищення ефективності функціонування пасажирських перевезень залізничним транспортом України при застосуванні ВШМ. Одним з багатьох напрямків цих заходів є удосконалення діючих математичних моделей з визначення оптимальних розмірів руху пасажирських поїздів в умовах функціонування ВШМ. У зв'язку з цим необхідно розглянути математичну модель вибору кількості, призначень і схем составів пасажирських поїздів за умови повного освоєння пасажиропотоку з моделюванням розподілу пасажиропотоку за типами вагонів з метою

отримання максимально можливого прибутку від перевезень.

**Математична модель оптимального розподілу потоку пасажирських поїздів високошвидкісних магістралей на полігоні залізниці.** Основними факторами, що впливають на вибір схеми формування, є дальність поїздки пасажирів; величина пасажиропотоку за напрямками; попит на категорію місць; рівень технічного оснащення пасажирських станцій; пропускна спроможність залізничних напрямків і ресурс вагонів пасажирського парку. Розглянемо розрахунковий полігон залізниць, що включає станції можливого формування і обороту швидкісних пасажирських поїздів дальнього сполучення, вузлові станції, а також ділянки залізничних ліній, обмежені цими станціями.

Призначення пасажирського поїзда визначається маршрутом його проходження від початкової станції до станції призначення, а також схемою його формування.

Нехай  $x_j$  – кількість поїздів  $j$ -го призначення в місяць максимальних перевезень, причому  $x_j \geq 0$ ,  $j = \overline{1, n}$ .

Для освоєння заданого пасажиропотоку на кожній ділянці розрахункового полігону кількість місць у поїздах має відповідати потребам у перевезеннях. Тому умова освоєння пасажиропотоків на  $i$ -й ділянці полягає в тому, щоб надати таку кількість місць у вагонах різних типів, яка перевищила б або дорівнювала кількості пасажирів, які прямують на даній ділянці:

$$\sum_{j=1}^n \delta_{ij} \sum_{k=1}^q a_k x_{kj} \geq \Gamma_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

де  $a_k$  – місткість вагона  $k$ -го типу;

$x_{kj}$  – кількість вагонів  $k$ -го типу у складі поїзда  $j$ -го призначення в розрахунковий період, причому  $x_{kj} \geq 0$ .

У свою чергу  $\delta_{ij}$  – елементи матриці інцидентій «призначення – дільниця»:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1; & \text{якщо поїзд } j \text{ – го призначення} \\ & \text{прямує по } i \text{ – й дільниці;} \\ 0; & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

$\Gamma_i$  – місячна густота пасажиропотоку на  $i$ -й ділянці розрахункового полігону (кількість пасажирів, які прямують на ділянці за місяць максимальних перевезень);

$m$  – кількість дільниць на розрахунковому полігоні;

$n$  – кількість призначень пасажирських поїздів.

Кількість вагонів у складі пасажирського поїзда прийнято рівною 9. Загальна кількість вагонів різних типів у поїздах кожного призначення не повинна перевищувати їхньої максимальної кількості:

$$\sum_{k=1}^q x_{kj} \leq m_{\max} x_j, \quad k = \overline{1, q}, \quad (2)$$

де  $m_{\max}$  – максимальна кількість вагонів всіх типів в складі поїзда  $j$ -го призначення (9 ваг);

$q$  – кількість типів пасажирських вагонів, які використовуються при освоєнні пасажиропотоку на розрахунковому полігоні.

Для забезпечення максимального задоволення попиту на перевезення у вагонах різних типів, а також можливого перерозподілу пасажиропотоку у вагони відмінних від попиту типів введено обмеження

$$\sum_{l=1}^q d_{ikl} \leq \sum_{j=1}^n \delta_{ij} a_k x_{kj}, \quad (3)$$

де  $d_{ikl}$  – кількість пасажирів, які прямують на  $i$ -й ділянці у вагонах  $k$ -го типу і бажають скористатись вагонами  $l$ -го типу.

Загальна кількість пасажирів, які прямують на кожній ділянці, повинна відповідати попиту на місця у вагонах відповідного типу:

$$\sum_{k=1}^q d_{ikl} = \Gamma_{il}, \quad d_{ikl} \geq 0. \quad (4)$$

де  $\Gamma_{il}$  – кількість пасажирів, які бажають прямувати на  $i$ -й ділянці у вагонах  $l$ -го типу.

Очевидно, що сумарний попит на місця у вагонах різних типів повинен дорівнювати

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1; & \text{якщо поїзд } j\text{-го призначення формується} \\ & \text{або обертається на } t\text{-й станції,} \\ 0; & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

У якості величини переробної спроможності станції в даній роботі прийнято пропускну спроможність перонних колій (у поїздах), яка визначається як

$$N_t = \frac{m_t \cdot T_p - T_{\text{носм}}}{t_{\text{зан}}(1 + \rho)}, \quad (7)$$

загальному попиту на перевезення по кожній ділянці розрахункового полігону:

$$\sum_{l=1}^q \Gamma_{il} = \Gamma_i.$$

При розрахунку схем складів пасажирських поїздів необхідно враховувати ресурс вагонного парку. Обмеження по ресурсу вагонного парку визначаються за формулою

$$\sum_{j=1}^n x_{kj} \leq R_k, \quad (5)$$

де  $R_k$  – ресурс парку пасажирських вагонів  $k$ -го типу.

Заданий обсяг пасажиропотоку може бути освоєний поїздами різних призначень. При цьому виникає ряд проблем, пов'язаних з формуванням поїздів на станціях відправлення і організацією їх обробки на станціях обороту. Колійний розвиток і технічне оснащення цих станцій визначають кількість поїздів, яку може переробити станція:

$$\sum_{j=1}^n \delta_{ij} x_j \leq N_t, \quad (6)$$

де  $N_t$  – переробна спроможність станції, кількість пасажирських поїздів, яку спроможна переробити  $t$ -та станція за добу;

$\delta_{ij}$  – елементи матриці інцидентів «призначення – станція».

У свою чергу

де  $m_t$  – кількість перонних колій на станції;

$T_p$  – розрахунковий період, за який визначається пропускну спроможність, хв;

$T_{\text{носм}}$  – сумарна тривалість зайняття приймально-відправних колій операціями, пов'язаними з пропусканням локомотивів, поїздів інших категорій, очищенням колій та ін., хв;

$t_{зан}$  – тривалість зайняття колії пасажирським поїздом, хв;

$\rho$  – коефіцієнт, що враховує внутрішньодобову нерівномірність руху, вплив суміжних пристроїв, виникнення відмов технічних пристроїв та ін. (0,2).

Тривалість зайняття перонної колії включає час на приймання і відправлення поїзда, на посадку і висадку пасажирів з вагонів, а також на їх прохід по платформі з урахуванням припинення посадки за 1-2 хв до відправлення поїзда. Якщо на коліях станції приймання наскрізного типу виконуються додаткові технічні операції і тривалість їх

більше, ніж посадка і висадка пасажирів, у розрахунок приймається найбільш тривала операція.

Від кількості і призначень пасажирських поїздів, що обертаються на розрахунковому полігоні, а також їх схем залежать не тільки доходи, які визначаються виручкою від продажу квитків, але і витрати на організацію перевезень, тому доцільно в якості критерію використати їх різницю.

Враховуючи викладене, задача знаходження оптимальної кількості, призначень і схеми складів пасажирських поїздів за умови отримання максимального прибутку буде виражена цільовою функцією

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^q b_{ik} \sum_{l=1}^q d_{ikl} - \sum_{i=1}^m c_j x_j - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q c_{kj} x_{kj} \rightarrow \max, \quad (8)$$

де  $b_{ik}$  – вартість місця у вагоні  $k$ -го типу на  $i$ -й ділянці;

$c_j$  – витрати, пов'язані з розрахунком за користування інфраструктурою, що припадає на один поїзд  $j$ -го призначення;

$c_{kj}$  – вартість введення в оборот одного вагона  $k$ -го типу в складі поїзда  $j$ -го призначення.

Обмеження цільової функції такі:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \delta_{ij} \sum_{k=1}^q a_k x_{kj} \geq \Gamma_i, i = \overline{1, m}, & j = \overline{1, n}; \\ \sum_{k=1}^q x_{kj} \leq m_{\max} x_j, k = \overline{1, q}; & \sum_{l=1}^q d_{ikl} \leq \sum_{j=1}^n \delta_{ij} a_k x_{kj}; \\ \sum_{k=1}^q d_{ikl} = \Gamma_{il}, & d_{ikl} \geq 0; \sum_{j=1}^n x_{kj} \leq R_k; \sum_{j=1}^n \delta_{ij} x_j \leq N_t(m_t). \end{cases} \quad (9)$$

Складові обмежень моделі позначено в поясненнях до формул (1)-(7). У цільовій функції (8) перша складова – доходи, що отримуються від продажу квитків на пасажирські поїзди різних призначень і у вагони різних типів. На рівень доходу впливає не тільки попит на місця у вагони різних типів, але і зручний час відправлення пасажирського поїзда з початкової станції та час прибуття на станцію призначення, незалежно від розташування пунктів формування та обороту пасажирського поїзда.

У якості складових витрат на здійснення перевізного процесу в моделі прийнято дві статті, які залежать від способу організації

перевезення пасажирів у дальньому сполученні. Перша стаття – витрати за користування інфраструктурою УЗ, які залежать тільки від вибраного маршруту прямування і виражаються у вартості виконаних поїздно-кілометрів  $\left( \sum_{i=1}^m c_j x_j \right)$ . Друга стаття – витрати на утримання та експлуатацію рухомого складу

УЗШК  $\left( \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q c_{kj} x_{kj} \right)$ .

У нашому випадку топологія розташування станцій формування й обороту поїздів показана на рис. 1. Розрахунковий

полігон включає чотири станції можливого формування і обороту поїздів (рис. 2). Пасажиропотоки освоюються поїздами шести призначень в один бік і шести – у зворотному, схеми складів яких невідомі. До розрахунку приймаються два типи вагонів у складі поїздів – 1 та 2 класу.

На рис. 2 вказано кількість поїздів за розрахунковий період кожного призначення –  $x_j$  та  $y_j$ , а також кількість вагонів кожного типу у складі поїздів цих призначень –  $x_{kj}$  та  $y_{kj}$ .

Переробна спроможність кожної станції буде визначатись залежно від потрібної кількості перонних колій.

Додаткові вихідні дані – вартість проїзду на ділянках розрахункового напрямку  $b_{ik}$ , густота пасажиропотоку на ділянці, сегментована за типами вагонів  $\Gamma_{ik}$ , місткість вагонів кожного типу  $a_k$ , ресурс вагонного парку  $R_k$ , оцінка витрат на вагони  $C_{kj}$  та поїзда  $C_j$  – наведено в табл. 1-3.

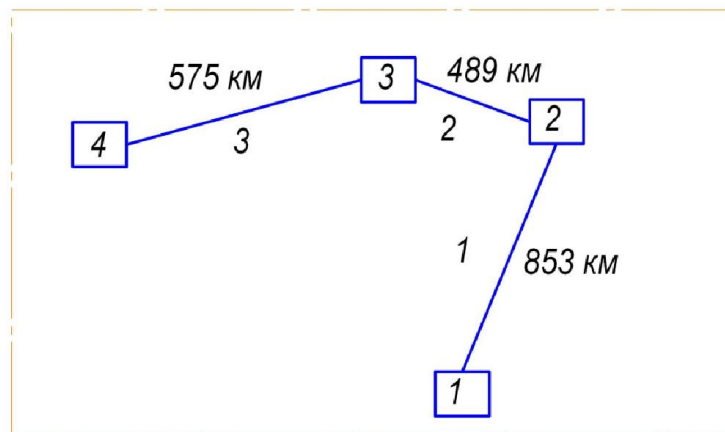


Рис. 1. Топологія розташування станцій формування й обороту високошвидкісних поїздів

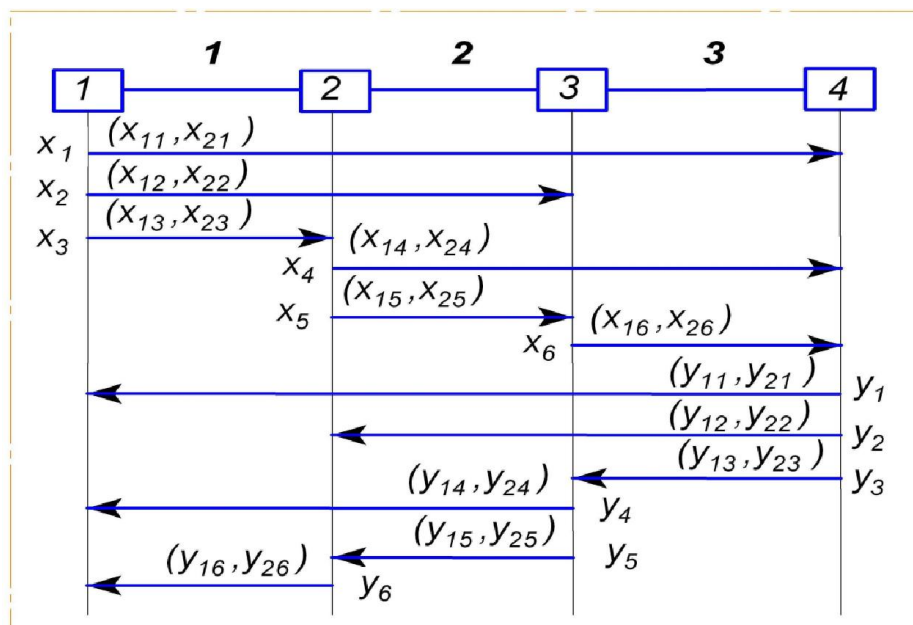


Рис. 2. Розрахункова схема напрямків прямування поїздів

Таблиця 1

Вартість проїзду на дільницях розрахункового напрямку, тис. грн

Номер дільниці	Тип вагона	
	1 клас	2 клас
1	$b_{11}$	$b_{12}$
2	$b_{21}$	$b_{22}$
3	$b_{31}$	$b_{32}$

Таблиця 2

Густота пасажиропотоку за розрахунковий період, місткість і ресурс вагонів за типами

Тип вагона		Густота пасажиропотоку, тис. люд			Місткість вагона, місць	Ресурс вагонів, ваг
		номер дільниці				
		1	2	3		
Напрямок $X$						
1	1 клас	$G_{X11}$	$G_{X21}$	$G_{X31}$	$a_1$	$R_{X1}$
2	2 клас	$G_{X12}$	$G_{X22}$	$G_{X32}$	$a_2$	$R_{X2}$
Напрямок $Y$						
1	1 клас	$G_{Y11}$	$G_{Y21}$	$G_{Y31}$	$a_1$	$R_{Y1}$
2	2 клас	$G_{Y12}$	$G_{Y22}$	$G_{Y32}$	$a_2$	$R_{Y2}$

Таблиця 3

Витрати на курсування окремих вагонів та поїздів

Вид витрат	Поїзне призначення					
	1	2	3	4	5	6
Напрямок X						
Витрати на вагон 1 типу $j$ -го призначення (ваг.км), тис. грн	$C_{X11}$	$C_{X12}$	$C_{X13}$	$C_{X14}$	$C_{X15}$	$C_{X16}$
Витрати на вагон 2 типу $j$ -го призначення (ваг.км), тис. грн	$C_{X21}$	$C_{X22}$	$C_{X23}$	$C_{X24}$	$C_{X25}$	$C_{X26}$
Витрати на поїзд $j$ -го призначення (поїзд.км), тис. грн	$C_{X1}$	$C_{X2}$	$C_{X3}$	$C_{X4}$	$C_{X5}$	$C_{X6}$
Напрямок Y						
Витрати на вагон 1 типу $j$ -го призначення (ваг.км), тис. грн	$C_{Y11}$	$C_{Y12}$	$C_{Y13}$	$C_{Y14}$	$C_{Y15}$	$C_{Y16}$
Витрати на вагон 2 типу $j$ -го призначення (ваг.км), тис. грн	$C_{Y21}$	$C_{Y22}$	$C_{Y23}$	$C_{Y24}$	$C_{Y25}$	$C_{Y26}$
Витрати на поїзд $j$ -го призначення (поїзд.км), тис. грн	$C_{Y1}$	$C_{Y2}$	$C_{Y3}$	$C_{Y4}$	$C_{Y5}$	$C_{Y6}$

Умови освоєння пасажиропотоку на кожній дільниці розрахункового напрямку будуть мати вигляд

$$\begin{cases} a_1(x_{11} + x_{12} + x_{13}) + a_2(x_{21} + x_{22} + x_{23}) \geq \Gamma_{X11} + \Gamma_{X12}; \\ a_1(x_{11} + x_{12} + x_{14} + x_{15}) + a_2(x_{21} + x_{22} + x_{24} + x_{25}) \geq \Gamma_{X21} + \Gamma_{X22}; \\ a_1(x_{11} + x_{14} + x_{16}) + a_2(x_{21} + x_{24} + x_{26}) \geq \Gamma_{X31} + \Gamma_{X32}; \\ a_1(y_{11} + y_{12} + y_{13}) + a_2(y_{21} + y_{22} + y_{23}) \geq \Gamma_{Y31} + \Gamma_{Y32}; \\ a_1(y_{11} + y_{12} + y_{14} + y_{15}) + a_2(y_{21} + y_{22} + y_{24} + y_{25}) \geq \Gamma_{Y21} + \Gamma_{Y22}; \\ a_1(y_{11} + y_{14} + y_{16}) + a_2(y_{21} + y_{24} + y_{26}) \geq \Gamma_{Y11} + \Gamma_{Y12}. \end{cases} \quad (10)$$

Обмеження по максимальній кількості вагонів у складах пасажирських поїздів можна виразити нерівностями

$$\begin{cases} x_{11} + x_{21} \leq m_{\max} x_1; x_{12} + x_{22} \leq m_{\max} x_2; \\ x_{13} + x_{23} \leq m_{\max} x_3; x_{14} + x_{24} \leq m_{\max} x_4; \\ x_{15} + x_{25} \leq m_{\max} x_5; x_{16} + x_{26} \leq m_{\max} x_6; \\ y_{11} + y_{21} \leq m_{\max} y_1; y_{12} + y_{22} \leq m_{\max} y_2; \\ y_{13} + y_{23} \leq m_{\max} y_3; y_{14} + y_{24} \leq m_{\max} y_4; \\ y_{15} + y_{25} \leq m_{\max} y_5; y_{16} + y_{26} \leq m_{\max} y_6. \end{cases} \quad (11)$$

Обмеження щодо розподілу пасажиропотоків за типами вагонів приймуть такий вигляд:

$$\begin{cases} d_{X111} + d_{X112} \leq a_1(x_{11} + x_{12} + x_{13}); d_{X121} + d_{X122} \leq a_2(x_{21} + x_{22} + x_{23}); \\ d_{X211} + d_{X212} \leq a_1(x_{11} + x_{12} + x_{14} + x_{15}); d_{X221} + d_{X222} \leq a_2(x_{21} + x_{22} + x_{24} + x_{25}); \\ d_{X311} + d_{X312} \leq a_1(x_{11} + x_{14} + x_{16}); d_{X321} + d_{X322} \leq a_2(x_{21} + x_{24} + x_{26}); \\ d_{Y111} + d_{Y112} \leq a_1(y_{11} + y_{12} + y_{13}); d_{Y121} + d_{Y122} \leq a_2(y_{21} + y_{22} + y_{23}); \\ d_{Y211} + d_{Y212} \leq a_1(y_{11} + y_{12} + y_{14} + y_{15}); d_{Y221} + d_{Y222} \leq a_2(y_{21} + y_{22} + y_{24} + y_{25}); \\ d_{Y311} + d_{Y312} \leq a_1(y_{11} + y_{14} + y_{16}); d_{Y321} + d_{Y322} \leq a_2(y_{21} + y_{24} + y_{26}). \end{cases} \quad (12)$$

Обмеження щодо попиту на місця у вагонах різних типів будуть такими:

$$\begin{cases} d_{X111} + d_{X112} = \Gamma_{X11}; d_{X121} + d_{X122} = \Gamma_{X12}; \\ d_{X211} + d_{X212} = \Gamma_{X21}; d_{X221} + d_{X222} = \Gamma_{X22}; \\ d_{X311} + d_{X312} = \Gamma_{X31}; d_{X321} + d_{X322} = \Gamma_{X32}; \\ d_{Y111} + d_{Y112} = \Gamma_{Y11}; d_{Y121} + d_{Y122} = \Gamma_{Y12}; \\ d_{Y211} + d_{Y212} = \Gamma_{Y21}; d_{Y221} + d_{Y222} = \Gamma_{Y22}; \\ d_{Y311} + d_{Y312} = \Gamma_{Y31}; d_{Y321} + d_{Y322} = \Gamma_{Y32}. \end{cases} \quad (13)$$

Обмеження по ресурсу вагонного парку виражаються нерівностями

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} \leq R_{X1}; \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} \leq R_{X2}; \\ y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15} + y_{16} \leq R_{Y1}; \\ y_{21} + y_{22} + y_{23} + y_{24} + y_{25} + y_{26} \leq R_{Y2}. \end{cases} \quad (14)$$

Обмеження по переробній спроможності станцій

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 + y_1 + y_4 + y_6 \leq N_1(m_1); \\ x_3 + x_4 + x_5 + y_2 + y_5 + y_6 \leq N_2(m_2); \\ x_2 + x_5 + x_6 + y_3 + y_4 + y_5 \leq N_3(m_3); \\ x_1 + x_4 + x_6 + y_1 + y_2 + y_3 \leq N_4(m_4). \end{cases} \quad (15)$$

Цільова функція в нашому випадку набуде вигляду

$$\begin{aligned}
 F = & b_{11}(d_{x111} + d_{x112} + d_{y111} + d_{y112}) + b_{21}(d_{x211} + d_{x212} + d_{y211} + d_{y212}) + \\
 & + b_{31}(d_{x311} + d_{x312} + d_{y311} + d_{y312}) + b_{12}(d_{x121} + d_{x122} + d_{y121} + d_{y122}) + \\
 & + b_{22}(d_{x221} + d_{x222} + d_{y221} + d_{y222}) + b_{32}(d_{x321} + d_{x322} + d_{y321} + d_{y322}) - \\
 & - C_{x1}x_1 - C_{x2}x_2 - C_{x3}x_3 - C_{x4}x_4 - C_{x5}x_5 - C_{x6}x_6 - C_{y1}y_1 - C_{y2}y_2 - C_{y3}y_3 - \\
 & - C_{y4}y_4 - C_{y5}y_5 - C_{y6}y_6 - C_{x11}x_{11} - C_{x21}x_{21} - C_{x12}x_{12} - C_{x22}x_{22} - C_{x13}x_{13} - \\
 & - C_{x23}x_{23} - C_{x14}x_{14} - C_{x24}x_{24} - C_{x15}x_{15} - C_{x25}x_{25} - C_{x16}x_{16} - C_{x26}x_{26} - \\
 & - C_{y11}y_{11} - C_{y21}y_{21} - C_{y12}y_{12} - C_{y22}y_{22} - C_{y13}y_{13} - C_{y23}y_{23} - C_{y14}y_{14} - \\
 & - C_{y24}y_{24} - C_{y15}y_{15} - C_{y25}y_{25} - C_{y16}y_{16} - C_{y26}y_{26} \rightarrow \max.
 \end{aligned} \tag{16}$$

В обмеженнях до цільової функції перевірено залежність пропускної спроможності перонних колій від їхньої

кількості. Для цього побудовано графік, з якого не виникає сумніву про лінійну залежність між цими двома величинами (рис. 3).

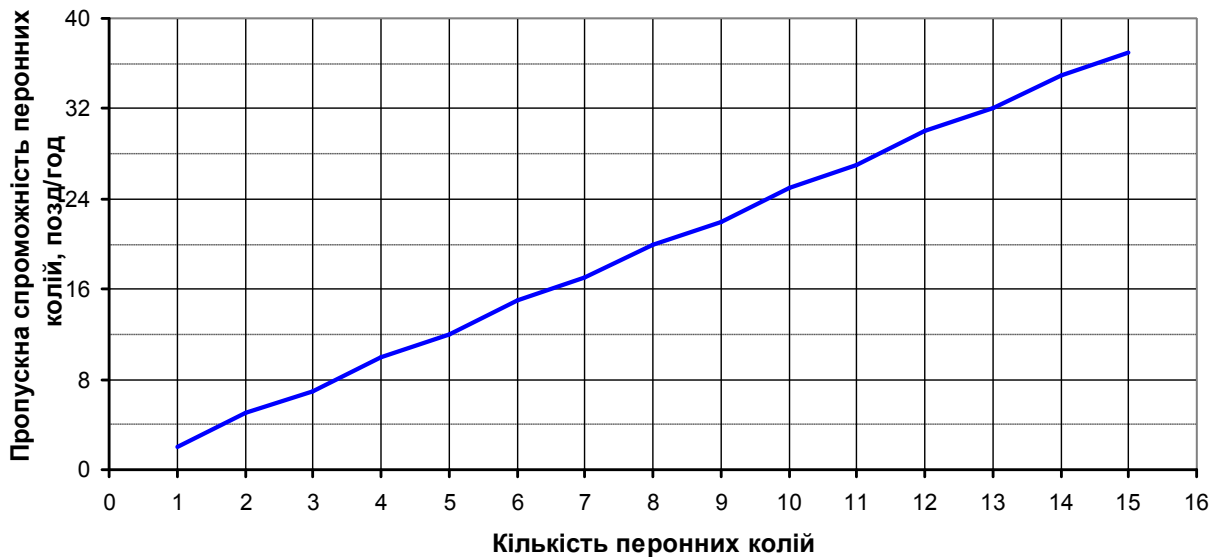


Рис. 3. Графік залежності пропускної спроможності перонних колій від їхньої кількості

При побудові цього графіка прийнято: кількість перонних колій на станції – від 1 до 15; розрахунковий період, за який визначається пропускна спроможність, – 240 хв; сумарна тривалість зайняття приймально-відправних колій операціями, пов'язаними з пропусканням локомотивів, поїздів інших категорій, очищення колій та ін., – 60 хв; тривалість зайняття колії пасажирським поїздом – 20 хв; коефіцієнт, що враховує внутрішньодобову нерівномірність руху, вплив суміжних пристроїв, виникнення відмов технічних пристроїв та ін., – 0,2.

Отже, вищезазначена оптимізаційна задача належить до задач лінійного програмування, оскільки має цільову функцію та обмеження лінійного характеру.

При розв'язанні даної задачі найбільш доцільно застосувати симплекс-метод. Для цього обмеження (9) до цільової функції (8) приведено до канонічного вигляду [3-5], причому за роботами [6-9] використано відомі прийоми: заміна рівняння двома протилежними нерівностями, зміна знака в нерівностях



$$\left\{ \begin{array}{l} -\sum_{j=1}^n \delta_{ij} \sum_{k=1}^q a_k x_{kj} \leq -\Gamma_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}; \\ \sum_{k=1}^q x_{kj} - m_{\max} x_j \leq 0, \quad k = \overline{1, q}; \quad \sum_{l=1}^q d_{ikl} - \sum_{j=1}^n \delta_{ij} a_k x_{kj} \leq 0; \\ \sum_{k=1}^q d_{ikl} \leq \Gamma_{il}, \quad d_{ikl} \geq 0; \quad -\sum_{k=1}^q d_{ikl} \leq -\Gamma_{il}, \quad d_{ikl} \geq 0; \\ \sum_{j=1}^n x_{kj} \leq R_k; \quad \sum_{j=1}^n \delta_{ij} x_j - N_t(m_t) \leq 0. \end{array} \right. \quad (17)$$

**Висновок.** В удосконаленій математичній моделі в якості критерію оптимальності обрано максимальний прибуток пасажирської компанії при організації руху високошвидкісних поїздів на даному полігоні. Модель розроблено для чотирьох станцій можливого обороту та формування високошвидкісних поїздів Hyundai Rotem HRCSS2. Розроблена математична модель базується на

комплексному підході з урахуванням пасажиропотоку, робочого парку вагонів у складах високошвидкісних поїздів, обмежень колійного розвитку станцій по маршруту руху поїздів. Дана математична модель дозволить обрати оптимальний план формування швидкісних поїздів з максимальним прибутком для компаній, що займаються високошвидкісними пасажирськими перевезеннями.

#### Список використаних джерел

1. Пазойский, Ю.О. Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (в примерах и задачах) [Текст] / Ю.О. Пазойский, Л.С. Рябуха, В.Г. Шубко; под ред. В.Г. Шубко. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
2. Грунтов, П.С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок [Текст]: учеб. для вузов / под. ред. П.С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 544 с.
3. Бакаев, А.А. Математические методы в планировании и экономических расчетах [Текст] / А.А. Бакаев, Ю.М. Ермольев, Ю.Н. Кузнецов, В.И. Кузубов. – К.: Наукова думка, 1968. – 224 с.
4. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций [Текст] / Хемди А. Таха. – 7-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
5. Акулич, И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах [Текст] / И.Л. Акулич. – М.: Высшая школа, 1986. – 319 с.
6. Зайченко, Ю.П. Исследование операций [Текст] / Ю.П. Зайченко. – К.: Вища школа, 1991. – 191 с.
7. Литвиненко, А.Е. Метод направленного перебора в системах управления и диагностирования [Текст] / А.Е. Литвиненко. – К., 2007. – 328 с.
8. Ковалев, М.М. Дискретная оптимизация (целочисленное программирование) [Текст] / М.М. Ковалев. – Минск: БГУ, 1997 – 192 с.
9. Вагнер, Г. Основы исследования операций [Текст] / Г. Вагнер. – М.: Мир, 1973. – Т.1. – 336 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Є.С. Альошинський

Розсоха Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Солонець Володимир Миколайович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42.

Rozsokha Olexandr, Associate Professor, Doctor of Science (Ph.D.), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Solonets Volodymyr, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42.

Наукова праця здана до друку 17.06.2015 року.