УДК 656.211.26 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.173.2017.118241

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ У КРУПНОМУ ЗАЛІЗНИЧНОМУ ВУЗЛІ

Д-р техн. наук О. М. Огар, магістранти М. С. Кужавський, Є. М. Кузнецов, М. В. Наумов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ В КРУПНОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЗЛЕ

Д-р техн. наук А. Н. Огарь, магистранты Н. С. Кужавский, Е. Н. Кузнецов, М. В. Наумов

DETERMINATION OF THE RATIONAL LOCATION FOR A PASSENGER STATION SERVING HIGH-SPEED TRAINS IN A LARGE RAILWAY JUNCTION

Doct. of techn. sciences O. Ohar, master student M. Kuzhavsky, Y. Kuznetsov, M. Naumov

Проаналізовано наукові підходи щодо розрахунку та оптимізації параметрів високошвидкісних магістралей. Визначено координати станцій метрополітену, центрів бізнесу, населеності і пам'яток крупного мегаполісу, координати розрахункових точок його вулиць і проспектів з інтенсивним рухом транспорту та координати точок входу залізничних ліній у місто. Розраховано вагові коефіцієнти цільової функції. Визначено

раціональне місце розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у залізничному вузлі.

Ключові слова: *пасажирська станція, високошвидкісні магістралі, поїзд, вузол, обслуговування, розміщення, модель.*

Проанализированы научные подходы по расчету и оптимизации параметров высокоскоростных магистралей. Определены координаты станций метрополитена, центров бизнеса, населенности и памятников крупного мегаполиса, координаты расчетных точек его улиц и проспектов с интенсивным движением транспорта и координаты точек входа железнодорожных линий в город. Рассчитаны весовые коэффициенты целевой функции. Определено рациональное месторасположение пассажирской станции для обслуживания высокоскоростных поездов в железнодорожном узле.

Ключевые слова: *пассажирская станция, высокоскоростные магистрали, поезд, узел, обслуживание, размещение, модель.*

The scientific approaches concerning calculation and optimization of high-speed lines parameters were analyzed. The analysis showed that the issue of rational location of passenger stations for the servicing of high-speed trains at large railway junctions were not sufficiently considered. The coordinates of subway stations, business centers, settlements and monuments of a large metropolis, coordinates of the settlement points of streets and avenues with intensive traffic and coordinates of points of entry of railway lines to the city are determined. The weighting coefficients of the target function were calculated. The results of calculating these coefficients indicate that the most significant parameter is the distance from the passenger station to the subway station. The rational location of the passenger station for servicing high-speed trains at the railway station was determined. The passenger railway station in this place can not be located. Therefore, two alternative variants of station placement on the site of the existing stations of railway junction nearest to the optimal location were proposed. In order to choose the best option, it is proposed to perform detailed technical and economic calculations.

Key words: *passenger station, high-speed lines, train, junction, service, location, model.*

Вступ. Транспортна інфраструктура будь-якого мегаполісу постійно розвивається. В умовах зростаючого попиту на пасажирські перевезення, появи нових категорій поїздів, зокрема високошвидкісних, підвищення якості обслуговування пасажирів проблема розвитку транспортної інфраструктури мегаполіса стає особливо актуальною. В межах вказаної проблеми особливо важливими стають питання реконструкції існуючих пасажирських та інших станцій, що є «затиснутими» міськими забудовами. Деякі станції залізничних вузлів крупних міст України в найближчому майбутньому або в перспективі можуть взяти на себе функції обслуговування високошвидкісних поїздів. Вибір раціональної залізничної станції вузла для обслуговування вказаних поїздів або обґрунтування місця розташування нової пасажирської станції з тим же функціональним призначенням на сьогодні є важливим науково-прикладним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед останніх досліджень і публікацій, що присвячені питанням розвитку високошвидкісного руху пасажирських поїздів, відомими є праці Абдуллаєва І. С., Бутько Т. В., Переселенкова Г. С., Розсохи О. В., Еспіноси-Аранди Д., Канафані А., Клілоу Р. та ін. [1-7].

В [1] розвиток пасажирських станцій крупних міст в умовах впровадження високошвидкісного руху розглядається лише з позиції ефективного використання площі, що займається станцією.

В [2] основна увага приділяється тільки визначенню раціональної топології залізничної мережі високошвидкісних та швидкісних перевезень. Раціональна топологія пасажирських станцій для обслуговування високошвидкісних поїздів в крупних містах не розглядається.

В [3] увага спрямована на формування критерію розвитку залізниць, в тому числі і високошвидкісних магістралей. Оцінка ефективності розвитку транспортних систем крупних міст відсутня.

В [4] формулюється задача знаходження оптимальної кількості призначень і схеми составів пасажирських поїздів. Вирішується вказана задача, як і у [2], для полігону залізниць. Пасажирські станції залізничних вузлів розглядаються тільки з позиції їх пропускної спроможності.

В [5] основна увага спрямована на планування високошвидкісних перевезень. Це планування базується на думці користувачів. Конструктивно-технологічні параметри транспортних систем крупних міст при цьому не враховуються.

В [6] оцінюються переваги і ефективність високої швидкості в мультимодальній транспортній системі. Параметри транспортних вузлів крупних міст при цьому не розглядаються.

В [7] досліджуються європейські пасажиропотоки високошвидкісних залізничних і бюджетних перевізників. Вплив особливостей і параметрів транспортної інфраструктури міст в ході досліджень не враховується.

Отже, питання раціонального розміщення пасажирських станцій для обслуговування високошвидкісних поїздів у крупних залізничних вузлах розглянуто недостатньо.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою роботи є визначення раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у Харківському залізничному вузлі на основі урахування множини факторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити координати центрів бізнесу, населеності і пам’яток міста, координати станцій метрополітену, координати розрахункових точок вулиць і проспектів міста з інтенсивним рухом транспорту, координати точок входу залізничних ліній у місто, визначити вагові коефіцієнти цільової функції і виконати оптимізаційні розрахунки.

Основна частина дослідження. Раціональне місце розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у Харківському залізничному вузлі пропонується визначити за допомогою математичної моделі, що наведена у [8].

Для розрахунку координат центрів бізнесу, населеності і пам’яток міста визначено широту і довготу бізнес-центрів, районів і основних пам’яток Харкова та перераховано їх відповідно до локальної системи координат (табл. 1-3). За точку відліку локальної системи координат обрано точку з координатами 49,9° північної широти і 36,1° східної довготи, а при визначенні координат районів міста за розрахункову точку окремого району прийнято точку, що відповідає центру його населеності.

На підставі даних, що наведені у табл. 2, координати центру населеності міста складуть

$$x_{ЦН} = \begin{pmatrix} 223{,}9 \cdot 8071{,}31 + 183{,}1 \cdot 14360{,}61 + \\ + 304{,}2 \cdot 17290{,}86 + 142{,}7 \cdot 16826{,}42 + \\ + 157{,}8 \cdot 20186{,}59 + 147{,}4 \cdot 13004{,}42 + \\ + 93{,}2 \cdot 10487{,}23 + 107{,}9 \cdot 5724{,}29 + \\ + 88{,}7 \cdot 5081{,}31 \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{1448{,}9} = 13283{,}13 \text{ м};$$

$$y_{ЦН} = \begin{pmatrix} 223{,}9 \cdot 14860{,}31 + 183{,}1 \cdot 14380{,}95 + \\ + 304{,}2 \cdot 12500{,}75 + 142{,}7 \cdot 7781{,}75 + \\ + 157{,}8 \cdot 4304{,}8 + 147{,}4 \cdot 6546{,}27 + \\ + 93{,}2 \cdot 6782{,}56 + 107{,}9 \cdot 6521{,}36 + \\ + 88{,}7 \cdot 10211{,}92 \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{1448{,}9} = 10186{,}49 \text{ м.}$$

Таблиця 1

Координати бізнес-центрів

№ п/п	Адреса бізнес-центру	Широта, °	Довгота, °	Координати бізнес-центру у локальній системі координат, м	
				X	*Y*
1	пр. Московський, 199,а, торгово-офісний центр «Sun City Plaza»	49,971778	36,307287	14691,45	7981,35
2	пр. Гагаріна, 43/2, бізнес-центр «Аристократ»	49,973635	36,257427	11157,63	8187,84
3	пр. Московський, 142, бізнес-центр «Сіті Хол»	49,967151	36,316863	15370,15	7466,85
4	пр. Московський, 138,а, бізнес-центр «Voomy IT Park»	49,970749	36,304846	14518,45	7866,93
5	вул. Чернишевська, 13, бізнес-центр «Ліра»	49,997625	36,236866	9700,37	10855,40
6	вул. Клочківська, 111а, бізнес-центр «Тетріс»	50,007592	36,218098	8370,19	11963,68
7	вул. Сумська, 10, торгово-офісний центр «Аве Плаза»	49,994627	36,232455	9387,74	10522,04
…	…	…	…	…	…
49	вул. Свободи, 7/9, БЦ «Паралель 50»	50,003931	36,237685	9758,42	11556,60
50	вул. Свободи, 19/21, ТЦ «Iva»	50,003482	36,239943	9918,45	11506,67

Таблиця 2

Населеність та координати районів міста

Район міста	Населеність міста у 2017 р., тис. люд	Широта, °	Довгота, °	Координати району у локальній системі координат, м	
				X	*Y*
Шевченківський	223,9	50,033642	36,213881	8071,31	14860,31
Київський	183,1	50,029331	36,302619	14360,61	14380,95
Московський	304,2	50,012422	36,343963	17290,86	12500,75
Немишлянський	142,7	49,969983	36,337410	16826,42	7781,75
Індустріальний	157,8	49,938714	36,384820	20186,59	4304,80
Слобідський	147,4	49,958872	36,283484	13004,42	6546,27
Основ’янський	93,2	49,960997	36,247968	10487,23	6782,56
Новобаварський	107,9	49,958648	36,180766	5724,29	6521,36
Холодногірський	88,7	49,991838	36,171694	5081,31	10211,92

Таблиця 3

Координати пам'яток міста

№ п/п	Адреса пам'ятки	Широта, °	Довгота, °	Координати пам'ятки у локальній системі координат, м	
				X	*Y*
1	вул. Тринклера, 8, Державний музей природи Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна	49,98679	36,2343	9518,51	9650,61
2	вул. Університетська, 5, Харківський історичний музей імені М. Ф. Сумцова	49,9868	36,2344	9525,60	9651,72
3	вул. Жон Мироносиць, 11, Харківський художній музей	49,98679	36,2343	9518,51	9650,61
4	пл. Привокзальна, 1, Музей історії та залізничної техніки Південної залізниці	49,989557	36,204538	7409,13	9958,28
5	вул. Багалія, 6, Харківський літературний музей	50,00111	36,245608	10319,96	11242,92
6	пров. Кравцова, 15, Музей космонавтики і уфології (Харківського планетарію імені Ю. А. Гагаріна)	49,995739	36,22875	9125,15	10645,69
…	…	…	…	…	…
97	сел. Лісне, Feldman Ecopark	50,102611	36,281151	12839,07	22529,30
98	вул. Сумська, 35, Харківський державний зоологічний парк	50,002778	36,225	8859,37	11428,39

Згідно з виконаними розрахунками, центр населеності міста знаходиться в 150 м від ТРЦ «Французький бульвар» за адресою: провулок Академіка Павлова, 7 (49,9916° північної широти і 36,2874° східної довготи).

Координати центрів бізнесу і пам'яток міста Харків розраховано з використанням таблиць MS Excel при припущенні, що рівні престижності бізнес-центрів і популярності пам'яток дорівнюють 1. За результатами розрахунків центр бізнесу знаходиться за адресою: вулиця Куликівська, 45 ($x_{ЦБ} = 10299{,}56$ м, $y_{ЦБ} = 10562{,}03$ м; 49,994987° північної широти і 36,24532° східної довготи), а центр пам'яток – за адресою: вулиця Шевченка, 71/1 ($x_{ЦП} = 10933{,}07$ м, $y_{ЦП} = 11007{,}22$ м; 49,99899° північної широти і 36,254263° східної довготи).

Вулиці й проспекти міста з інтенсивним рухом транспорту подано у вигляді множини розрахункових точок з відповідними координатами. Також визначено координати точок входу залізничних ліній у місто.

Перш ніж розраховувати координати раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів необхідно визначити вагові коефіцієнти цільової функції, що наведена у [8]. Як вже відзначалося в [8], для визначення цих коефіцієнтів слід використовувати метод експертних оцінок [9], який враховує узагальнений досвід фахівців у даному питанні.

Перед проведенням оцінки було обрано 20 висококваліфікованих фахівців (за даною тематикою досліджень). Фахівцям вказано параметри, від яких залежить місце розташування пасажирської станції, та завдання, яке стоїть перед ними: ввести лінійний порядок на множині параметрів. Після виконання фахівцями завдання кожному параметру присвоєно оцінку його значимості за шестибальною шкалою, починаючи з 1 (найменш значимий параметр) до 6 (найбільш значимий параметр).

Результати розрахунку вагових коефіцієнтів свідчать про те, що найбільш значимим параметром є відстань від пасажирської станції до станції метрополітену. Координати станцій метрополітену наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Координати станцій метрополітену

Станція метрополітену	Широта, °	Довгота, °	Координати станції у локальній системі координат, м	
			X	*Y*
1	2	3	4	5
Холодна гора	49,982774	36,182547	5850,52	9204,05
Індустріальна	49,946565	36,399370	21217,82	5177,79
Проспект Перемоги	50,059458	36,201552	7197,49	17730,91
Тракторний завод	49,952079	36,378174	19715,56	5790,92
імені О. С. Масельського	49,957849	36,360648	18473,41	6432,52
Армійська	49,961806	36,343141	17232,60	6872,51
Палац Спорту	49,966251	36,321158	15674,56	7366,77
Московський проспект	49,972221	36,301816	14303,70	8030,61
Завод імені Малишева	49,976007	36,280764	12811,64	8451,59
Спортивна	49,979389	36,261205	11425,40	8827,65
Проспект Гагаріна	49,980963	36,243215	10150,36	9002,67
Майдан Конституції	49,991720	36,232173	9367,76	10198,80
Центральний ринок	49,992782	36,219833	8493,16	10316,89
Південний вокзал	49,989669	36,204984	7440,74	9970,74
Олексіївська	50,050958	36,206326	7535,85	16785,76
23 Серпня	50,035541	36,219973	8503,08	15071,47
Ботанічний сад	50,026065	36,223114	8725,70	14017,79
Наукова	50,012906	36,226975	8999,35	12554,57
Держпром	50,005941	36,231122	9293,27	11780,10
Архітектора Бекетова	49,998446	36,240595	9964,67	10946,69
Захисників України	49,988584	36,264850	11683,74	9850,09
Метробудівників	49,978476	36,262723	11532,99	8726,13
Героїв праці	50,024581	36,335729	16707,28	13852,77

Продовження табл. 4

1	2	3	4	5
Студентська	50,017209	36,329543	16268,84	13033,04
Академіка Павлова	50,008931	36,317909	15444,29	12112,57
Академіка Барабашова	50,002381	36,303157	14398,74	11384,25
Київська	50,001200	36,269697	12027,27	11252,93
Пушкінська	50,003886	36,247592	10460,58	11551,59
Університет	50,004184	36,233651	9472,51	11584,73
Історичний музей	49,993270	36,230814	9271,44	10371,15

Таким чином, цільова функція набуває такого вигляду:

$$\sum S_B = 0{,}1619 \cdot S_{ЦБ}(x_{ПС}, y_{ПС}) + 0{,}2047 \cdot S_{ЦН}(x_{ПС}, y_{ПС}) +$$
$$+ 0{,}1048 \cdot S_{ЦП}(x_{ПС}, y_{ПС}) + 0{,}2667 \cdot S_{М}(x_{ПС}, y_{ПС}) +$$
$$+ 0{,}1667 \cdot S_{ІР}(x_{ПС}, y_{ПС}) + 0{,}0952 \cdot S_{ЗЛ}(x_{ПС}, y_{ПС}) \to \min.$$

Для зменшення обсягу обчислень пропонується обмежити область пошуку раціонального місця розташування пасажирської станції таким чином: $x_{ПС}^{\min} = 10000$ м, $x_{ПС}^{\max} = 13500$ м, $y_{ПС}^{\min} = 9000$ м, $y_{ПС}^{\max} = 11500$ м.

Результати оптимізаційних розрахунків (див. рисунок) довели, що оптимальним місцем розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів є точка з координатами $x_{ПС} = 11299$ м, $y_{ПС} = 9603$ м (49,986366° північної широти і 36,259417° східної довготи). Вказана точка знаходиться за адресою: майдан Захисників України, 7/8 (біля станції метрополітену «Площа повстання»).

Висновки. Виконані розрахунки показали, що оптимальним місцем розміщення пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів є місце, в якому її розміщення є неможливим. Якщо розглядати варіанти розміщення пасажирської станції на місці існуючих станцій залізничного вузла, то слід відзначити, що найближчими станціями до оптимального місця є станції Харків-Левада і Харків-Балашівський. Інші станції і зупинні пункти залізничного вузла знаходяться на значно більшій відстані від оптимального місця. Таким чином, є два альтернативних варіанти спеціалізації станцій Харківського залізничного вузла для обслуговування високошвидкісних поїздів. Для вибору кращого варіанта необхідно виконати детальні техніко-економічні розрахунки.

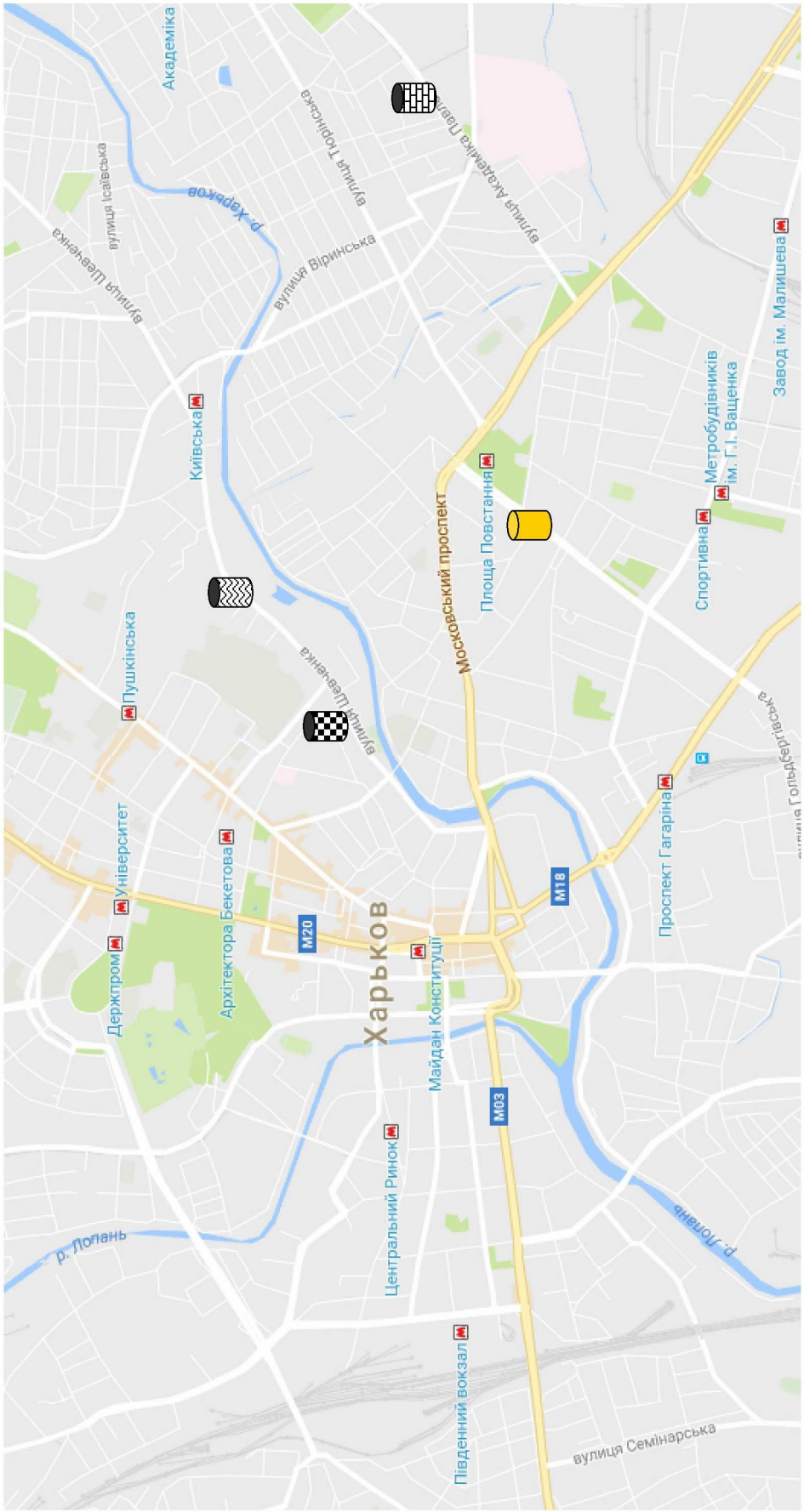

Рис. Результати оптимізаційних розрахунків місця розташування пасажирської станції:
– центр бізнесу міста; – центр населеності міста; – центр пам'яток міста;
– оптимальне місце розташування пасажирської станції

Список використаних джерел

1. Абдуллаев, И. С. Обоснование мероприятий по увеличению пропускной способности пассажирских станций [Текст] : дис. … канд. техн. наук 05.22.08 / И. С. Абдуллаев. – М., 2016. – 181 с.

2. Бутько, Т. В. Удосконалення підходів щодо розвитку швидкісного і високошвидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України [Текст] / Т. В. Бутько, Л. О. Пархоменко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2014. – Вип. 4. – С. 14.

3. Переселенков, Г. С. Высокоскоростные железные дороги и надежность пассажирских перевозок [Текст] / Г. С. Переселенков // Развитие системы пассажирских сообщений. – М.: Наука, 1984. – С. 135-148.

4. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О. В. Розсоха, В. М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5-13.

5. Espinosa-Aranda J. High-speed railway scheduling based on user preferences [Text] / J. Espinosa-Aranda [et al.] // European Journal of Operational Research. – 2015, November. – Vol. 246. – P. 772 – 786.

6. Kanafani, A. The Economics of Speed – Assessing the performance of High Speed Rail in Intermodal Transportation / A. Kanafani, R. Wang, A. Griffin // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 8th International Conference on Traffic and Transportation Studies (ICTTS 2012). – Elsevier Ltd, 2012. – Vol. 43. – P. 692-708. – Режим доступу: https://doi.org/10.1016/ j.sbspro.2012.04.143

7. Clewlow, R. R. The impact of high-speed rail and low-cost carriers on European air passenger traffic [Text] / R. R. Clewlow, J. M. Sussman, H. Balakrishnan // Transport Policy. – 2014. – Vol. 33. – P. 136-143.

8. Огар, О. М. Математична модель визначення раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у крупному залізничному вузлі [Текст] / О. М. Огар, М. С. Дребот, А. Б. Мумінов // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 166. – С. 23-30.

9. Хамханова, Д. Н. Теоретические основы обеспечения единства экспертных измерений [Текст] / Д. Н. Хамханова. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2006. – 170 с.

Огар Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@gmail.com.
Кужавський Микола Сергійович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@gmail.com.
Кузнецов Євген Миколайович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@gmail.com.
Наумов Максим Володимирович, магістрант ІППК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@gmail.com.

Ohar Oleksandr, doct. of techn. sciences, professor, chair “Railway stations and junctions“, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@gmail.com.
Kuzhavsky Mykola, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@gmail.com.
Kuznetsov Yevgen, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@gmail.com.
Naumov Maksym, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@gmail.com.

Стаття прийнята 13.10.2017 р.