

УДК 656.025.2

**Віктор Костюшко, здобувач**  
(Державний економіко-технологічний університет транспорту)

### **ВИБІР СХЕМИ ПРОКЛАДКИ ПРИМІСЬКИХ ПОЇЗДІВ НА ГРАФІКУ ПО МІНІМУМУ ПАСАЖИРО-ГОДИН ОЧІКУВАННЯ**

*Досвід функціонування приміського пасажирського транспорту в ринкових умовах свідчить про відсутнє посилення конкуренції з боку автоперевізників завдяки оперативності їх реагування на потреби населення. Це проявляється у гнучкому графіку та вищій інтенсивності руху, підвищенні комфортності транспортних засобів, зручному розташуванню зупинок у приміській зоні. Тому в умовах, що склалися, адаптувати приміський пасажирський залізничний транспорт до вимог конкурентного середовища можна, враховуючи вибір схеми прокладки приміських поїздів на графіку по мінімуму пасажиро-годин очікування, загальний час, що витрачає пасажир на поїзду, умови перебування пасажирів під час поїздки у рухомому складі. У статті проведено дослідження процесу надходження пасажирів на зупинні пункти у Тетерівському та Фастівському напрямках Київського залізничного вузла. У результаті оброблення статистичних даних і методом найменших квадратів отримана емпірична формула для оцінки середнього часу очікування пасажиром приміського поїзда.*

*Автором наведено графіки приходу приміських пасажирів на платформу, схема прокладки поїздів на графіку та визначено залежність пасажиропотоку від часу. Вдосконалюючи технологію приміських пасажирських перевезень, необхідно, з одного боку, враховувати особливості приміських перевезень, а з іншого – не забувати про інтереси пасажирів. Задоволення їх вимог характеризується рівнем комфортності поїздок, який містить затрати часу на поїзду, враховуючи середній час очікування пасажиром приміського поїзда, населеність составів поїздів, зручність розкладу руху.*

*Ключові слова:* приміські пасажирські перевезення, пасажиропотік, населеність вагонів, технологія перевезень, інтервали відправлення поїздів, пасажиро-години очікування пасажирів.

**Віктор Костюшко, соискатель**  
(Государственный экономико-технологический университет транспорта)

### **ВЫБОР СХЕМЫ ПРОКЛАДКИ ПРИГОРОДНЫХ ПОЕЗДОВ НА ГРАФИКЕ ПО МИНИМУМУ ПАССАЖИРО-ЧАСОВ ОЖИДАНИЯ**

*Опыт функционирования пригородного пассажирского транспорта в рыночных условиях свидетельствует о значительном усилении конкуренции со стороны автоперевозчиков благодаря оперативности их реагирования на*

© Костюшко В. П., 2014

*потребности населения. Это проявляется в гибком графике и высшей интенсивности движения, повышении комфортности транспортных средств, удобном расположении остановок в пригородной зоне. Поэтому, в сложившихся условиях, адаптировать пригородный пассажирский железнодорожный транспорт с требованиями конкурентной среды возможно, учитывая выбор схемы прокладки пригородных поездов на графике по минимуму пассажиро-часов ожидания, общего времени, что тратит пассажир на поездку, условий пребывания пассажира во время поездки в подвижном составе.*

*В статье проведено исследование процесса поступления пассажиров на остановочные пункты в Тетеревском и Фастовском направлениях Киевского железнодорожного узла.*

*В результате обработки статистических данных и методом наименьших квадратов получена эмпирическая формула для оценки среднего времени ожидания пассажиром пригородного поезда.*

*Автором приведены графики прихода пригородных пассажиров на платформу, схема прокладки поездов на графике и определена зависимость пассажиропотока от времени.*

*Совершенствуя технологию пригородных пассажирских перевозок, необходимо, с одной стороны, учитывать особенности пригородных перевозок, а с другой – не забывать об интересах пассажиров. Удовлетворение их требований характеризуется уровнем комфортности поездок, который включает в себя затраты времени на поездку, учитывая среднее время ожидания пассажиром пригородного поезда, населенность составов, удобство расписания движения.*

*Ключевые слова: пригородные пассажирские перевозки, пассажиропоток, населенность вагонов, технология перевозок, интервалы отправления поездов, пассажиро-часы ожидания пассажиров.*

**Viktor Kostiuszko**

*(applicant, State Economy and Technology University of Transport)*

## THE SELECTION OF COMMUTER TRAINS LAYING SCHEME ON GRAPH AT A MINIMUM PASSENGER-HOURS OF WAITINGS

*Experience of the suburban passenger transport market conditions indicates a significant increase in competition from road transport thanks to the speed of their response to the population needs. This manifests itself in a flexible schedule and higher traffic, increasing the comfort in vehicles, conveniently located stops in a suburban area. Thus under the present circumstances, it is quite possible to adapt the commuter rail transport to the competitive environment requirements considering the selection of commuter trains laying scheme on graph at a minimum passenger-hours of waitings, total time for a trip, conditions for passengers taking on board.*

*In this paper we analyze the flows of passengers at the stopping points in Teteriv and Fastiv direction of Kyiv railway junction.*

*Processing statistical data by the «least squares» method has resulted in our obtaining an empirical formula to estimate the average waiting time for a commuter. The*

*paper gives the graphs of commuter trains arriving at platform, the commuter trains laying schemes on graphs and determined dependence between the flow of passengers and the time.*

*Improving the commuter transportation technology, it is necessary, on the one hand, to take into account the peculiarities of commuter traffic, and on the other hand, not to forget the passengers. Meeting their requirements is characterized by a trip comfort level, including the trip time, average time for passenger to wait the commuter train, the car occupancy, the table convenience.*

*Keywords: commuter transportation, passenger turnover, car occupancy, traffic technology, intervals of train departure, passenger-hours of waitings.*

**Вступ.** Регулярність руху приміських поїздів на напрямках є одним із основних якісних показників, що характеризує комфортність поїздки пасажирів і одночасно оцінює рівень роботи підприємства (стан технічної готовності рухомого складу, наявність резерву рухомого складу, організацію контролю за графіком руху).

Організація перевізного процесу на залізничному транспорті значною мірою визначається погодженістю в роботі всіх його підрозділів, що забезпечується на основі руху поїздів по графіку. Графік руху поїздів розробляють для цілих напрямків з врахуванням кращого використання локомотивів. Суворе виконання графіка руху пасажирських поїздів є обов'язковою умовою. Графік має забезпечувати точне і регулярне обертання приміських поїздів між населеними пунктами. Саме графік руху визначає послідовність зайняття поїздами перегонів, часу відправлення і прибуття поїздів по кожному роздільному пункту, швидкості руху поїздів по перегонах і норми часу стоянки їх на станціях, а також серії локомотивів, які обслуговують поїзда, вагові норми і довжини поїздів [2].

**Постановка проблеми.** Час перебування в русі на даний момент є одним із найважливіших чинників, які впливають на вибір пасажирів. Зменшення часу поїздки, у більшості випадків, призводить до збільшення пасажирообороту. Повне, своєчасне та якісне задоволення потреб населення у приміських пасажирських перевезеннях не тільки покращує умови його праці, але є одним із важливих напрямів підвищення технологічного і економічного потенціалу України. За час поїздки пасажир не тільки бере участь у виробничому процесі, але й утомлюється. Тому приміський залізничний транспорт є невід'ємною частиною інфраструктури міста.

Вагомою частиною витрат часу на поїздки є час очікування пасажирами приміських поїздів, тому його зниження є внутрішнім резервом перевізного процесу. Це є одним з головних напрямів підвищення якості перевізного процесу.

Зменшення затрат часу пасажирами на проїзд є важливою умовою покращення якості обслуговування пасажирів. В умовах конкурентного середовища повинен забезпечуватись інтенсивний пошук ефективних технологій організації процесу перевезення. Це є одним із пріоритетних питань Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010 – 2019 рр. [1]. Існуючі підходи до пошуку раціонального забезпечення приміських перевезень дозволяють знаходити лише розподіл пасажиропотоків на мережі без належного врахування коливання попиту в різні періоди доби.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій та виділення невирішених раніше аспектів проблеми, яким присвячена стаття.** Розвиток досліджень щодо ефективної організації приміських залізничних пасажирських перевезень, питань якості транспортних послуг у науковій літературі зустрічаються все частіше, що зумовле-

но зростаючою актуальністю проблеми. Найбільше робіт було присвячено вартісній оцінці часу, що витрачає пасажир у поїзді різними видами транспорту. Серед публікацій доцільно відзначити роботи таких науковців як О.П. Артинов, Т.В. Бутько, В.Г. Галабурда, П.С. Грунтов, О.М. Гудков, Ф. П. Кочнев, Ю.Ф. Кулаєв, Н.В. Левадна, Д.В. Ломотько, В.І. Мацюк, В.К. Мироненко, Ю.О. Пазойський, Л.С. Рябуха, П.В. Самарцев, І.Б. Сотніков, В.Г. Шубко та інших авторів [1 – 7].

Разом з тим, досвід функціонування приміського пасажирського транспорту в ринкових умовах свідчить про відчутне посилення конкуренції з боку автоперевізників завдяки оперативності їх реагування на потреби населення. Це проявляється у гнучкому графіку та вищій інтенсивності руху, підвищенні комфортності транспортних засобів, зручному розташуванні зупинок у приміській зоні.

**Мета статті.** В умовах, що склалися, адаптувати приміський пасажирський залізничний транспорт до вимог конкурентного середовища можна, враховуючи вибір схеми прокладки приміських поїздів на графіку по мінімуму пасажиро-годин очікування, загальний час, що витрачає пасажир на поїздку, умови перебування пасажира під час поїздки у рухомому складі, чому й присвячена дана стаття.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Окрім загальновідомих особливостей приміських пасажирських перевезень (просторова і добова нерівномірність пасажиропотоку, масовість, невеликі відстані прямування), на сучасному етапі можна виділити такі нюанси приміських перевезень:

- 1) залізниці взяли на себе частину міських перевезень пасажирів і, фактично, стали видом міського громадського транспорту;
- 2) нестача справного рухомого складу;
- 3) різке скорочення приміських пасажиропотоків, зокрема за рахунок конкуренції з боку автомобільного транспорту і підвищення рівня тарифів на залізничному транспорті.

Середній час очікування пасажиром приміського поїзда характеризує якість організації приміських перевезень.

За даними опитування в Київському вузлі залізничних перевезень, більше 80% пасажирів, які користуються послугами приміського залізничного транспорту, точно знають час відправлення составів поїздів. І основна маса пасажирів, знаючи розклад руху приміських поїздів, приходять на платформу безпосередньо перед відправленням поїзда. Слід зазначити, що на сьогодні існують методики по визначенню пасажиро-годин очікування [7, 8], які базуються на формулі:

$$\sum AT_{\text{оч}} = \frac{(T_{\text{пер}} \cdot a_n \cdot n)}{2} \quad (1)$$

де  $T_{\text{пер}}$  – період графіка руху приміських поїздів за добу, год.;

$a_n$  – розрахункова місткість приміського поїзда;

$n$  – кількість поїздів.

Аналіз проведених раніше досліджень з оцінки середнього часу очікування пасажиром приміського поїзда свідчить, що формула (1) не відображає реальної ситуації, оскільки передбачає рівномірне надходження на платформу пасажирів, які очікують прибуття приміського состава, одразу після відправлення попереднього состава. У зв'язку з цим формула (1) потребує коригування.

З метою визначення витрат часу на проїзд було проведено дослідження процесу надходження пасажирів на зупинні пункти у Тетерівському та Фастівському напрямках Київського залізничного вузла. Хронометрувався час приходу кожного

пасажира на платформу. Натурні спостереження свідчать, що у більшості випадків, поява першого пасажира на платформі зафіксована не раніше, ніж за 40 хв. до прибуття поїзда. Потім вівся підрахунок пасажирів, які надходили на платформу, по п'ятихвилинних інтервалах впритик до відправлення поїзда. Характерні графіки приходу пасажирів на платформу наведені на рис. 1, де як приклад показано три поїзди (три спостереження).

У результаті були оброблені статистичні дані (більше 100 поїздів, тобто більше 100 спостережень) і методом найменших квадратів отримана емпірична формула для оцінки середнього часу очікування пасажиром приміського поїзда:

$$t_{оч} = 0,4 \cdot I, \quad (2)$$

де  $I$  – інтервал між попутними приміськими поїздами, хв.

Також відомо, що для приміських перевезень характерні два пікових періоди пасажиропотоків – ранішній (у бік м. Києва) та вечірній (виїзд із Києва). На ці періоди припадає близько 90% всього пасажиропотоку (за напрямками). Саме в такі періоди залізниця може використовувати свою найбільшу технологічну перевагу – забезпечення великої провізної спроможності разом із надійністю сполучень.

Для більш наглядної картини відображення по пікових періодах наведемо графіки зміни попиту на перевезення у Тетерівському та Фастівському напрямках (рис. 1).

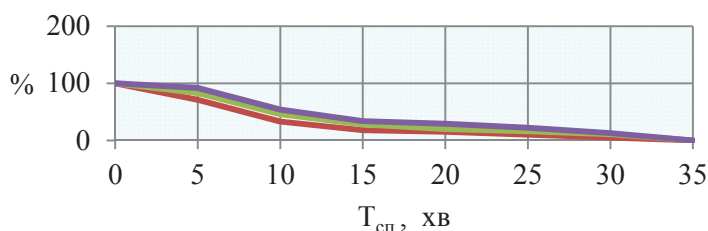


Рис. 1. Графіки приходу приміських пасажирів на платформу

$T_{сп}$  – час початку спостереження перед початком прибуття поїзда, хв.

Динаміку змін пасажиропотоків за часом можна відслідкувати по кривій стійкості. Зміна крутизни кривої показує на наявність сезонності пасажирських перевезень та їх масштабів.

Розглянемо інтенсивний період доби по відправленню із головної станції приміської ділянки. Залежність пасажиропотоку від часу приймемо лінійною. Тоді в цей період залежність пасажиропотоку від часу має такий вигляд:

$$A_{ij} = K_{ij} \cdot t \quad (3)$$

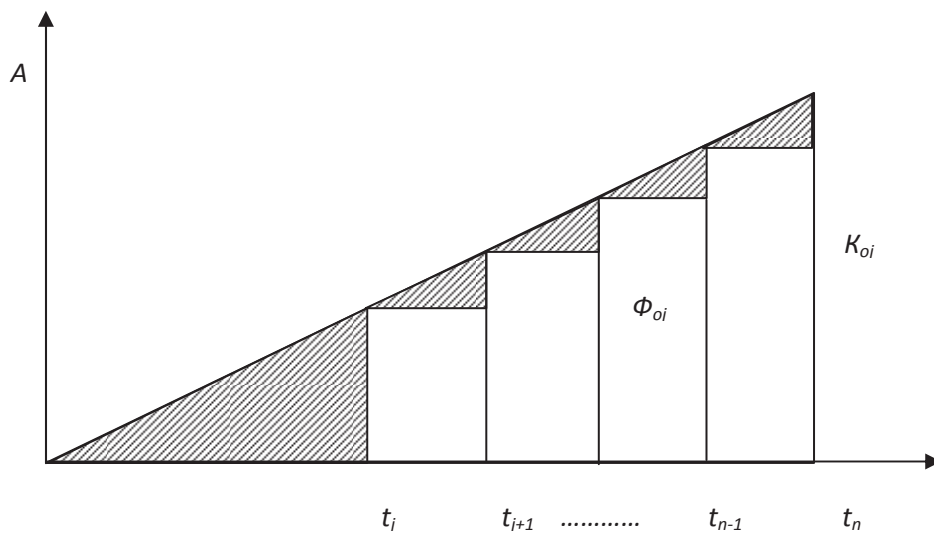
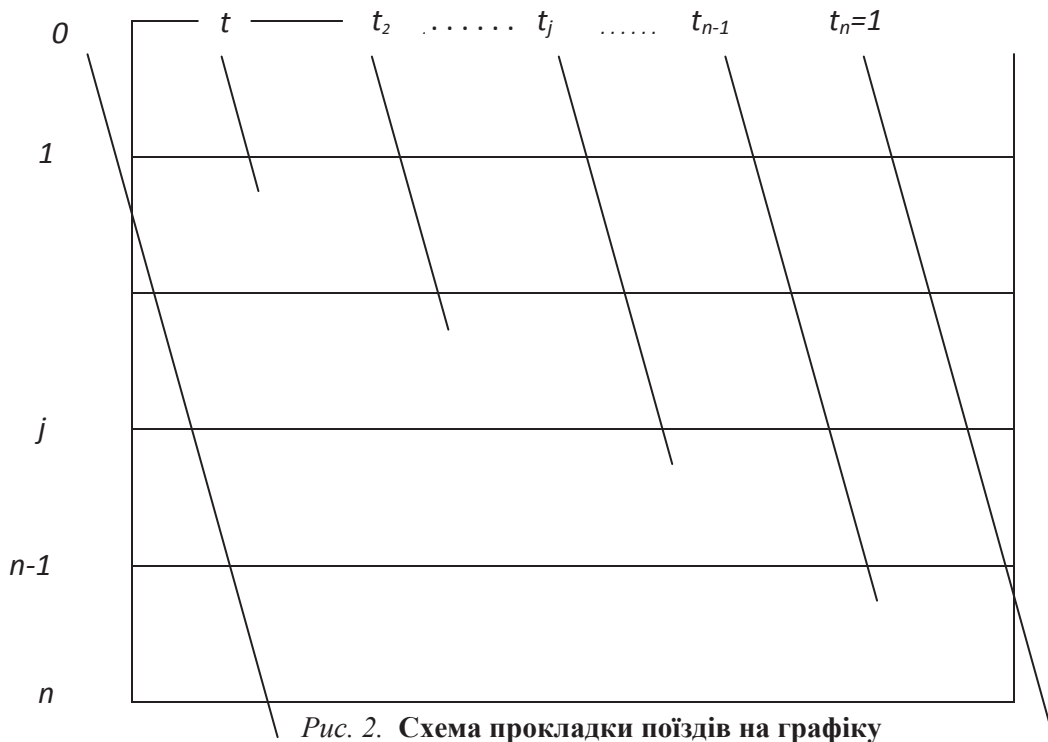
де  $K_{ij}$  – постійна інтенсивність пасажиропотоку з  $i$ -ї станції зародження на  $j$ -ту станцію його погашення. При цьому  $i = 0, 1, \dots, n-1$ ;

$$j = 1, 2, \dots, n;$$

$$i < j.$$

$n$  – кількість зонних станцій обороту приміських составів.

У системі координат  $t, A$  (час, пасажиропотік) пасажиро-години очікування численно дорівнюють площі, яка обмежена кривою наростаючого пасажиропотоку і ступінчатою лінією, що характеризує прийнятий розклад (рис. 2, 3).



Нехай  $t_i$  – моменти відправлення із головної станції приміської ділянки на  $j$ -ту станцію обороту. Пасажиро-години очікування для відповідної кореспонденції пасажиропотоку чисельно дорівнюють площі, яка обмежена прямою наростаючого потоку, що відповідає кореспонденції пасажиропотоку, і ступінчатою лінією, яка

характеризується прийнятою схемою прокладки. Мінімум пасажиро-годин очікування відповідає максимуму площі, що обмежена ступінчатою лінією і віссю абсцис. Прийmemo величину  $t_n$  за одиницю. Тоді  $t_j$  будуть виражені в частках одиниці. Критерієм для визначення оптимальних моментів відправлення поїздів з головної станції виберемо сумарні пасажиро-години очікування. Тоді для пасажирів, які прямують з головної станції на  $j$ -ту зону, сумарні пасажиро-години очікування ( $\sum At_{oc}$ ) будуть дорівнювати площі заштрихованої фігури (рис. 3).

Нехай  $\Phi_{oj}$  – площа незаштрихованої фігури. Тоді:

$$\left(\sum At_{oc}\right)_{ij} + \Phi_{oj} = \frac{1}{2}K_{oj} = Const. \quad (4)$$

Мінімум пасажиро-годин очікування або максимум площі  $\Phi$  можна визначити, якщо прийняти, що похідні цієї функції по  $t_i$  дорівнюють нулю, при тому, що  $i$  (число незалежних перемінних) на одиницю менше заданого числа проїзних одиниць. Значення інтервалів між поїздами будуть знайдені рішенням отриманої таким чином системи рівнянь. При лінійній залежності пасажиропотоку від часу отримаємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь, рішення яких визначає такі значення точок відправлення, при яких досягається мінімум площі, яка обмежена прямою і ступінчатими лініями, які виражають потребу у відправленні і запропоноване відправлення.

Оскільки лінія наростаючого пасажиропотоку може бути виражена лінійною залежністю від часу, то площа ступінчатої фігури при відправленні трьох поїздів складе:

$$T = kt_1(t_2 - t_1) + kt_2(1 - t_2) \quad (5)$$

де  $t_1, t_2$  – відповідно інтервали між відправленням першого і другого поїздів;

$k$  – коефіцієнт пропорціональності в лінійній залежності пасажиропотоку від часу.

Тоді невідомі  $t_1, t_2$  можна визначити із виразу:

$$\frac{\partial T}{\partial t_1} = kt_2 - 2kt_1 = 0; \quad (6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t_2} = kt_1 + k - 2kt_2 = 0,$$

звідки  $t_1 = 1/3$ ;  $t_2 = 2/3$ , тобто у разі лінійної залежності пасажиропотоку від часу доцільне рівномірне розподілення поїзних одиниць в періоді, що розглядається, незалежно від темпу накопичення пасажиропотоку. Якщо число зонних станцій більше двох, то між перемінними існують додаткові зв'язки, а саме: для даного варіанта плану формування можуть бути прийняті додаткові умови, число яких дорівнює числу транзитних поїздів. Тоді мінімум пасажиро-годин можна визначити методом невизначених множників Лагранжа:

для станції I .....  $A_1 = k_1 t$  ;

для станції II .....  $A_2 = k_2 t$  ;

для станції III .....  $A_3 = k_3 t$  .

**Висновки та пропозиції.** Вдосконалюючи технологію приміських пасажирських перевезень, треба, з одного боку, враховувати особливості приміських перевезень, а з іншого – не забувати про інтереси пасажирів. Задоволення їхніх вимог характери-

зується рівнем комфортності поїздок, який включає в себе затрати часу на поїздки, враховуючи середній час очікування пасажиром приміського поїзда, населеність составів поїздів, зручність розкладу руху.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010 – 2019 роки від 16 грудня 2009 року № 1390.* – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua/>.
2. *Артынов А.П., Дмитриев Н.У.* Пригородные пассажирские перевозки. – М.: Транспорт, 1985. – 161 с.
3. *Совершенствование пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте / А.А. Колесов, Б.А. Таулин, И.Н. Шалкин, В.Г. Шубко.* – М.: Транспорт, 1991. – 142 с.
4. *Боровикова М.С.* Организация движения на железнодорожном транспорте. – М.: Маршрут, 2003. – 368 с.
5. *Пазойский Ю.О.* Оптимизация параметров системы освоения пригородных пассажиропотоков в условиях мегаполиса: автореф. дис. д-ра техн. наук. – М., 2000. – 47 с.
6. *Пазойский Ю.О., Рябуха Л.С., Шубко В.Г.* Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (в примерах и задачах). – М.: Транспорт, 1991. – 240 с.
7. *Колпаков В.С., Шубко В.Г.* Совершенствование пассажирских перевозок. – М.: Транспорт, 1983. – 191 с.
8. *Полынцев Е.П.* Определение размеров движения пригородных поездов с учетом колебаний пассажиропотоков // Сб. науч. тр. «Совершенствование эксплуатационной работы в транспортных узлах»; Под общ. ред. А.К. Угрюмова. – Л.: ЛИИЖТ, 1981. – С. 78-89.

### REFERENCES

1. *Derzhavna tsil'ova prohrama reformuvannia zaliznychnoho transportu na 2010 – 2019 roky vid 16 hrudnia 2009 roku №1390* [State Program of the railway reform for 2010 – 2019 dated December 16, 2009 №1390] Rezhym dostupu: <http://www.uz.gov.ua/>.
2. *Artynov A.P., Dmytriev N.U.* *Pryhorodnie passazhyrskie perevozky.* [Commuter passenger transportation] – М.: Transport, 1985. – 161 p.
3. *Sovershenstvovanie passazhyrskykh perevozok na zheleznodorozhnom transporte* [Improving passenger rail service] / A.A. Kolesov, B.A. Taulyn, Shapkyn Y.N., Shubko V.G. М.: Transport, 1991. 142 s.
4. *Borovykova M.S.* *Orhanyzatsiya dyvzheniya na zheleznodorozhnom transporte.* [Organization of railway traffic] – М.: Marshrut, 2003. – 368 p.
5. *Pazoyskyi Yi.O.* *Optymyzatsyia parametrov systemy osvoeniya pryhorodnykh passazhyropotokov v uslovyiakh mehapolysa:* avtoref. dys. d-ra tekhn. nauk. [Optimization of parameters of the system of suburban passenger traffic development in the metropolis]. – М., 2000. – 47p.
6. *Pazoyskyi Yi.O., Riabukha L.S., Shubko V.H.* *Orhanyzatsyia passazhyrskykh perevozok na zheleznodorozhnom transporte (v prymerakh y zadachakh)* [Organization of passenger transportation on railway transport (examples and problems)]. – М.: Transport, 1991. –240 p.
7. *Kolpakov V.S., Shubko V.G.* *Sovershenstvovanie passazhyrskykh perevozok.* [Improving passenger traffic] – М.: Transport, 1983. – 191 p.
8. *Polyntsev E.P.* *Opredelenie razmerov dvyzheniya pryhorodnykh poezdov s uchetom kolebaniy passazhyropotokov* [Determining the amount of commuter trains, taking into account fluctuations of passenger flows] // *Sb. nauch. tr. «Sovershenstvovanie ekspluatatsyonnoi raboty v transportnykh uzлах»* Pod ob. red. A.K. Ugriumova. – L.: LYYZhT, 1981. – P. 78 – 89.