

УДК 656.025.2

СЛОТ-КООРДИНАЦІЯ РУХУ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНИХ ТЕРМІНАЛІВ

В. О. Вдовиченко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: Vval2301@gmail.com

Запропоновано метод слот-координації руху призначений для формування раціонального варіанту розподілу прибуття та обслуговування транспортних засобів у транспортно-пересадочних терміналах міського громадського пасажирського транспорту. Для формування варіанту слот-розкладу використано модифікований генетичний алгоритм пошуку раціонального розподілу часу прибуття транспортних засобів у транспортно-пересадочний термінал. Представлено форму слот-координації, яка дозволяє знаходити оптимальні рішення при узгодженні періодів часу обслуговування маршрутів в транспортно-пересадочних терміналах, забезпечує формування розкладу руху з урахуванням ресурсних обмежень маршрутів та існуючих параметрів пропускної спроможності зупиночних пунктів. Поставлена задача формування розкладу руху відрізняється від існуючих підходів використанням для її рішення генетичного алгоритму пошуку оптимальних рішень, що дозволяє значно скоротити процедуру розгляду сукупності можливих варіантів розкладу та виділити рівень їх пристосованості відносно умов стабілізації функціонування транспортно-пересадочних терміналів.

Ключові слова: міський пасажирський транспорт, транспортно-пересадочний термінал, розклад.

СЛОТ-КООРДИНАЦІЯ ДВИЖЕННЯ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ ТЕРМИНАЛОВ

В. А. Вдовиченко

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: Vval2301@gmail.com

Предложенный метод слот-координации движения предназначен для формирования рационального варианта распределения прибытия и обслуживания транспортных средств в транспортно-пересадочных терминалах городского общественного пассажирского транспорта. Для формирования варианта слот-расписания использован модифицированный генетический алгоритм поиска рационального распределения времени прибытия транспортных средств в транспортно-пересадочный терминал. Представленная форма слот-координации позволяет находить оптимальные решения при согласовании периодов времени обслуживания маршрутов в транспортно-пересадочных терминалах, обеспечивает формирование расписания движения с учетом ресурсных ограничений маршрутов и существующих параметров пропускной способности остановочных пунктов. Поставленная задача формирования расписания движения отличается от существующих подходов использованием для ее решения генетического алгоритма поиска оптимальных решений, что позволяет значительно сократить процедуру рассмотрения совокупности возможных вариантов расписания и выделить уровень их приспособленности относительно условий стабилизации функционирования транспортно-пересадочных терминалов.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, транспортно-пересадочный терминал, расписание.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Сучасні вимоги які висуваються перед міським громадським пасажирським транспортом (МГПТ) передбачають підвищення рівня сервісно-ресурсної ефективності при одночасному забезпеченні високого рівня мобільності населення. Досягнення поставленої мети можливе лише в умовах створення ефективної структури та технології роботи МГПТ. Основними базовими елементами в яких відбувається взаємодія учасників транспортного процесу є транспортно-пересадочні термінали (ТПТ). Сучасні ТПТ виступають в якості каркасних елементів мережі і повинні забезпечувати високий рівень узгодженості роботи всіх суб'єктів МГПТ. Вимоги які висуваються до сучасних ТПТ полягають у необхідності забезпечення ефективної координації взаємодії, що є запорукою впровадження ресурсозберігаючих принципів роботи МГПТ [1]. Координація взаємодії передбачає узгодження у часі руху транспортних засобів маршрутів з метою забезпечення високого рівня їх продуктивності та ліквідації непродуктивних простояв у ТПТ.

Дослідження задач координації взаємодії МГПТ в межах ТПТ проводилися виходячи з наступних аспектів:

- пошук раціонального розташування внутрішніх елементів ТПТ [2–4];
- погодження технічних параметрів [5];
- технологічна координація експлуатаційних параметрів [6–9].

Організація взаємодії суб'єктів МГПТ на основі визначення раціональної архітектурно-планувальної структури ТПТ представлена як форма його стратегічного планування, що передбачає визначення раціональної кількості та місць розташування зупиночних пунктів. Схема руху транспортних засобів та пасажирів які визначаються в ході пошуку раціональної планувальної структури є вагомим чинником у забезпеченні високого рівня його продуктивності, однак в умовах існуючих ТПТ вона не може розглядатися в якості механізму управління його взаємодією. Технічна взаємодія яка реалізується шляхом погодження технічних параметрів, характеристик та умов обслуговування транспортних засобів у ТПТ також в наслідок не можливості корегування складу та структури рухомого складу транспортних підприємств не може бути використана на практиці. Серед виділених напрямів координації найбільшу перспективу щодо використання в умовах існуючих плану-

вально-організаційних структур ТПТ представляє технологічна координація. У залежності від параметру-аргументу координації можна виділити наступні методи:

- на основі обліку стохастичності руху [10];
- через оцінку періодів пересадки [11–12];
- на основі оцінки транзиту потоків [13];
- багатокритеріальні критерії [14].

Основним недоліком існуючих методів технологічної координації взаємодії транспорту в ТПТ є відсутність в них обліку ресурсних можливостей елементів МГПТ, що в сучасних умовах робить їх малопристосованими для реального використання. Виходячи з цього виникає необхідність проведення дослідження спрямованого на виділення умов та послідовності координації взаємодії у ТПТ в якому цей процес розглядається з позицій орієнтації на забезпечення максимальної реалізації сервісно-ресурсного потенціалу МГПТ в межах існуючих можливостей його суб'єктів.

Метою роботи є формування структури та послідовності координації руху МГПТ в ТПТ з позицій забезпечення ресурсної ефективності його суб'єктів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Серед основних етапів формування технологічної взаємодії у ТПТ є слот-координація яка має своєю метою розподіл за часом моментів прибуття транспортних засобів та часу їх обслуговування. Слот-координація розкладу руху передбачає формування такого впливу на підсистеми МГПТ при якому досягається погодженість взаємодії у ТПТ відносно поставленої мети – забезпечення стабілізації процесу його роботи. В умовах багаторівневого представлення МГПТ процедуру слот-координації необхідно розглядати як системну задачу яка вимагає обліку відповідного обсягу структурованого інформаційного забезпечення та вирішується шляхом створення єдиного координаційного центру. Структура слот-координації руху представлена на рис. 1.

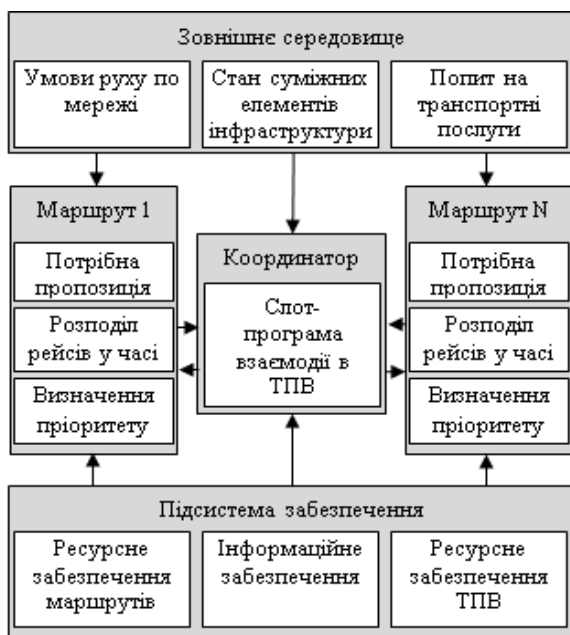


Рисунок 1 – Структура слот-координації руху

Єдність централізму та автономності функціонування маршрутної мережі досягається шляхом встановлення відповідних принципів слот-координації в основі яких лежить оцінка характеристичного взаємозв'язку між окремими суб'єктами МГПТ та встановлення відповідних локальних відносин між ними при реалізації загальної виробничої програми. До основних принципів слот-координації які мають своєю метою виділення умов створення синтезу процесів взаємодії відносяться:

- принцип домінантний який передбачає формування ієрархії маршрутів відповідно їх значимості за критерієм відповідності сервісно-ресурсної ефективності локального рівня;
- принцип спряженого гальмування в рамках якого відбувається, в разі необхідності, процедура зниження пріоритету обслуговування конфліктуючого маршруту;
- принцип субординації який спрямований на виділення зони автономності управління процесом руху транспортних засобів;
- принцип загального кінцевого шляху передбачає оцінку ефективності координації на основі єдиного узагальненого критерію;
- принцип зворотного зв'язку який забезпечує облік відповідності умов руху соціально-маркетинговим вимогам споживачів послуг.

Слот-координація, яка полягає у формуванні раціонального варіанту руху транспортних засобів через ТПТ відноситься до задач цілочисленого програмування, складність яких зростає експоненційно зі зростанням кількості можливих значень змінних величин. Такі задачі відносяться до класу NP-складних задач. Крім того поставленій задачі слот-координації характерна наявність специфічної вихідної інформації щодо технологічних обмежень взаємодії у ТПТ та велика кількість вимог які мають складну формалізацію. Не зважаючи на наявність широкого спектру методів цілочисленого програмування вказані складності перешкоджають автоматизації процедури складення слот-розкладу руху для ТПТ та обумовлюють використання методів штучного інтелекту для вирішення поставленої задачі. Серед таких методів уваги заслуговує генетичний алгоритм, який дозволяє скоротити процедуру пошуку найбільш ефективного варіанту слот-розкладу.

Слот-розклад розробляється для кожного зупиночного пункту ТПТ SP_{t_i} окремо виходячи з множини маршрутів $RT = \{R_{SP_{t_i}}\}, i = \overline{(1, N_{SP_{t_i}}^R)}$ які обслуговуються в ньому. В якості вихідної інформації для розробки слот-розкладу також використовуються m множин моментів часу знаходження транспортних засобів відповідних маршрутів у ТПТ $STR_m = \{\tau_{o_i}^m\}, i = \overline{(1, t)}$. Між вказаними множинами є зв'язки які визначаються організаційною структурою технологічних процесів які реалізують виробничі функції ТПТ. В якості теоретико-множинної моделі слот-розкладу можливо розглядати функцію яка відображає декартовий добуток множин $V = RT \times STR_m$ на множину $\{0,1\}$:

$$v_{R_{it}(r)} : RT \times STR_i \rightarrow \{0,1\}, \quad (1)$$

де v – функція приналежності, що відображає стан прийняття варіанту розкладу.

Значення функції $v(R_{SPi}, \tau_{oi}^m) = 1$ свідчить про те, що для маршруту R_{SPi} приймається розклад руху з множини STR_m . Еволюційна модель складання слот-розкладу передбачає пошук вектору $b = (b_{\tau_1}, b_{\tau_2}, \dots, b_{\tau_n}), b_{\tau_i} \in t$ який визначає приналежність моментів часу τ моментам обслуговування відповідних маршрутів. До складання слот-розкладу висувається ряд вимог та обмежень. Ці вимоги розподіляються на обов'язкові та бажані. До обов'язкових відноситься умова визначення тривалості знаходження транспортних засобів у ТПТ виходячи з фактичної тривалості сукупності технологічних операцій. Тобто значення функції v у моменти часу знаходження транспортного засобу в ТПТ відповідного маршруту визначається моментом його прибуття під обслуговування:

$$v_R(\tau_i) = 1, i = (\tau_p, \tau_p + t_o), \quad (2)$$

де t_o – плановий час обслуговування в ТПТ.

Бажані вимоги формують умови пошуку оптимального варіанту слот-розкладу та визначають вигляд цільової функції. Відповідно до висунутого загального критерію ефективності функціонування ТПТ критерій вибору раціонального варіанту слот-розкладу є забезпечення мінімізації часу непродуктивного простою транспортних засобів у черзі. Виходячи з цього критеріальні вимоги формування слот-розкладу приймають наступний вигляд:

$$\sum_{i=1}^t \tau_{qi} \rightarrow 0, \quad (3)$$

де τ_{qi} – момент часу простою у черзі.

Поставлена задача відрізняється від традиційної форми генетичного алгоритму пошуку оптимальних рішень та вимагає її корегування. Пропонується багаторівневий генетичний алгоритм відбору варіантів слот-розкладу який передбачає виділення z рівнів формування кінцевої особи (варіанту розкладу). Кількість рівнів формування (еволюції) визначається кількістю маршрутів які обслуговуються в зупиночному пункті. У генетичному алгоритмі розробки слот-розкладу кожна особь (варіант розкладу) є одним з варіантів можливих рішень. Особь складається з двох хромосом кожна з яких у свою чергу складається з генів. В якості гена приймаємо значення вектора b в якому відображені моменти часу τ , розмірність особі при цьому складає t елементів. Структура особі представлена на рис. 2.

Послідовність формування кінцевої особі передбачає етапи створення початкової популяції, схрещування, селекції, мутації та перевірки умов. Перед формуванням особі відбувається процедура ранжування маршрутів які проходять через зупиночний пункт за критерієм:

$$Cl_{RRR}(t) = K_{rcR}^{\partial} - K_{rcR}(t), \quad (4)$$

де K_{rcR}^{∂} – допустима межа коефіцієнту резервних провізних можливостей маршруту R , пас/період;

K_{rcR} - фактичний рівень значення коефіцієнту резервних провізних можливостей маршруту R у періоді (t) , пас/період.

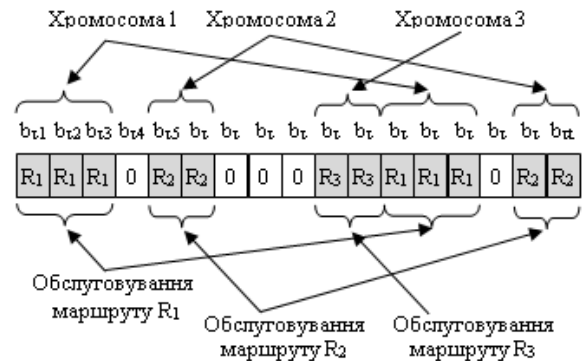


Рисунок 2 – Структура особи (варіанту слот-розкладу)

На етапі створення початкової популяції формується основна особь яка включає гени множини STR_1 яка відображає час обслуговування першого за пріоритетом обслуговування маршруту та сукупність другорядних особей. Другорядна особь представляє собою набір генів множини STR_2 (для другого за пріоритетом маршруту). Циклічність розміщення генів у собі визначається інтервалом руху по маршрутах. Основна особь формується виходячи з обраного першого моменту обслуговування, набір другорядних особей передбачає суміщення часу обслуговування в межах всього інтервалу прибуття. Після цього відбувається схрещування основної особі з кожною другорядною. У результаті цієї процедури народжуються набір особей першого покоління в яких присутні гени множин STR_1 та STR_2 . Селекція передбачає ранжування народжених особей за критерієм (3). Особі які не відповідають критерію у подальшому схрещуванні не приймають участь. Схема формування кінцевої особі (варіанту слот-розкладу) представлена на рис. 3.

У разі якщо шляхом схрещування не має можливості отримати особь яка відповідає визначеному критерію реалізується процедура мутації. У цьому випадку відбувається часткова інверсія (зміщення генів) другорядної особі на величину яка дорівнює часу непродуктивного простою транспортних засобів другого за рангом маршруту з подальшим корегуванням остаточної частини складу генів. Після виконання процедури мутації знов проводиться ранжування за критерієм (4). Наступний етап передбачає перехід до нового рівня формування варіанту на якому в якості основної приймається особь яка відповідає критерію відбору а другорядною – особь

сформована з множини STR_3 (для тертого за рангом маршруту). Послідовність дій має циклічний характер і передбачає виконання сукупності операцій описаних для першого кроку. У результаті формування остаточної особи отримуємо сукупність можливих варіантів слот-розкладу руху в ТПТ. Для вирішення локальної задачі узгодження розкладу руху з сформованої множини обирається варіант який забезпечує максимальну рівномірність розосередження періодів відсутності замовлень на обслуговування (гени з нульовим значенням). Після виконання процедури слот-координації виходячи з розрахункового часу руху між початковим зупиночним пунктом та ТПТ визначаються моменти відправлення з початкових станцій та розробляється розклад руху по кожному маршруту.

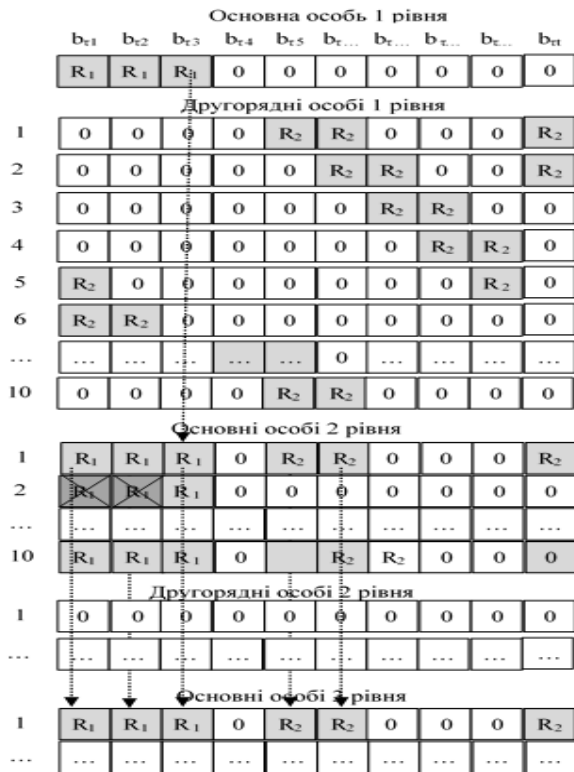


Рисунок 3 – Схема формування кінцевої особи (варіанту слот-розкладу)

ВИСНОВКИ. Представлена форма слот-координації дозволяє знаходити оптимальні рішення при узгодженні періодів часу обслуговування маршрутів МГПТ в ТПТ та забезпечує формування розкладу руху по маршрутах з урахуванням різних обмежень за режимом роботи та встановленими параметрами пропускної спроможності ТПТ.

Слот-координація розкладу руху забезпечує максимальні можливості реалізації потенціалу МГПТ в умовах ефективного використання ресурсів ТПТ з гарантованим дотриманням узгодженого з споживачами послуг рівня транспортного сервісу.

Запропонований метод слот-координації руху транспортних засобів у транспортно-пересадочних вузлах є ефективним інструментом поточного планування роботи міського громадського пасажирського транспорту та дозволяє вирішувати практичні задачі розробки єдиного розкладу руху в межах

об'єднаної організаційно-технологічної системи міських пасажирських перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вдовиченко В.О. Аналіз дестабілізуючих чинників внутрішньої сталості міського громадського пасажирського транспорту // Технологічний аудит та резерви виробництва – 2017. – №1/2 (33) – С. 23–30.
2. Кристопчук М.Є., Бичко З.В. До питання розміщення міських транспортно-пересадочних вузлів // Комунальне господарство міст. – 2012. – № 103. – С. 374–378.
3. Морозова Е.Б., Жаркевич Д.В. Принципы и приемы архитектурно-планировочной организации пассажирских терминалов в Республике Беларусь // Архитектура: сборник научных трудов. – 2013. – Вып. 6. – С. 208–212.
4. Азаренкова З.В. Планировочная организация транспортно-пересадочных узлов // Academia. Архитектура и строительство. – 2011. – № 1. – С. 76–80.
5. Михайлов А.Ю., Копылова Т.А. Классификационные характеристики интермодальных узлов городского пассажирского транспорта на примере г. Вены // Известия вузов. Инженерия. Строительство. Недвижимость. – 2015. – № 1 (12). – С. 137–144.
6. Рейцен Е.А., Берлог А.И. Организация пересадок с линии ГПТ на метрополитен и логистика // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2012. – № 3. – С. 4–11.
7. Dessouky M., Hall R., Zhang L., Singh A. Real-time control of buses for schedule coordination at a terminal // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 2003. – Vol. 37 (2). – P. 145–164.
8. Sorensen C. H., Longva F. Increased coordination in public transport - which mechanisms are available? // Transport Policy. – 2011. – Vol. 18, № 1. – P. 117–125.
9. Вдовиченко В.О., Самчук Г.О. Формування математичної моделі функціонування транспортно-пересадочних вузлів міського пасажирського транспорту // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2016. – №17. – С. 56–61.
10. Wu W., Liu R., Jin W. Designing robust schedule coordination scheme for transit networks with safety control margins // Transportation Research Part B: Methodological. – 2016. – Vol. 93. – P. 495–519.
11. Nesheli M.M., Ceder A.A. Improved reliability of public transportation using real-time transfer synchronization // Transportation Research. Part C: Emerging Technologies. – 2015. – Vol. 60. – P. 525–539.
12. Ibarra-Rojas O. J., López-Irarragorri F., Rios-Solis Y. A. Multiperiod bus timetabling // Transportation science. – 2015. – Vol. 50 (3). – P. 805–822.
13. Li L., Zhang H., Wang X., Lu W., Mu Z. Urban transit coordination using an artificial transportation system // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2011. – Vol. 12 (2). – P. 374–383.
14. Wu Y., Yang H., Tang J. Multi-objective resynchronizing of bus timetable: Model, complexity and solution // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2016. – Vol. 67. – P. 149–168.

SLOT COORDINATION OF MOTION OF URBAN PUBLIC PASSENGER TRANSPORT IN THE CONDITIONS OF TRANSPORT-TRANSPLANTATION TERMINAL

V. Vdovychenko

Kharkiv National Automobile and Highway University

Vul. Yaroslav Mudry, 25, Kharkiv, Ukraine. 61002, Ukraine. E-mail: Vval2301@gmail.com

Purpose. To form the structure and sequence of coordination of motion of urban public passenger transport from the positions of orientation to providing of maximal realization of service-resource potential within the limits of existent possibilities of passenger transport infrastructure. **Methodology.** For forming of the variant of slot schedule of traffic there has been used modified genetic algorithm of search of rational distribution of arrival time of transport vehicles in transport-transplantation terminal. In accordance with the generally accepted special purpose of function of urban public passenger transport the criterion of choice of rational variant of slot schedule envisages providing of minimization of time of unproductive outage of transport vehicles in a turn at their arrival in transport-transplantation terminal for service. **Results.** The presented form of slot coordination allows to find optimal decisions at the concordance of periods of time of service of routes of urban public passenger transport in transport-transplantation terminals, provides forming of traffic schedule with taking into account resource limitations of routes and existent parameters of carrying capacity of stopping points. **Originality.** The put task of forming of traffic schedule differs from existent approaches with the use of genetic algorithm of search of optimal decisions for its solving, that allows to considerably shorten procedure of consideration of totality of possible variants of timetable and distinguish the level of their adjustment with regard to the terms of stabilization of functioning of transport-transplantation terminals. The presented modification of genetic algorithm for the terms of transport-transplantation terminals consists of realization of multilevel procedure of selection of alternative variants of slot schedule of traffic on the basis of estimation of its meaningfulness in relation to resource possibilities of subjects of urban public passenger transport. **Practical value.** The offered method of slot coordination of motion of transport vehicles in transport-transplantation junction is the effective instrument of the current planning of the functioning of urban public passenger transport and it allows to solve the practical tasks of development of unified traffic schedule within the limits of the incorporated organizational and technological system of urban passenger transportations. References 14, figures 3.

Key words: urban passenger transport, transport-transplantation terminal, schedule.

REFERENCES

1. Vdovychenko, V.O. (2017). Analysis of destabilizing factors internal sustainability of urban public passenger transport. *Technology audit and production reserves*, Vol. (1(2)), pp. 23-30.
2. Kristopchuk, M.E., Bichko, Z.V. (2012). On the issue of the location of urban transport links. *Kommunalne gospodarstvo mist*, Vol. (103), pp. 374-378.
3. Morozova, E.B., Zharkevich, D.V. (2013). Principles and methods of architectural planning of passenger terminals in the Republic of Belarus. *Arhitektura: sbornik nauchnykh trudov*. Vol. (6), pp. 208 - 212.
4. Azarenkova, Z.V. (2011). Planirovochnaya organizatsiya transportno-peresadochnykh uzlov. *Academia. Arhitektura i stroitelstvo*, Vol. (1), pp. 76-80.
5. Mihaylov, A.Yu., Kopylova, T.A. (2015). Classifying characteristics of intermodal connections of city public transport at the example of Vienna. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost*, Vol. (1(12)). pp. 137-144.
6. Reytsen, E.A., Berlog, A.I. (2012). Organization of transfers from the UPT lines to the metro and logistics. *Vestnik Donetskoy akademii avtomobilnogo transporta*, Vol. (3), pp. 4-11.
7. Dessouky, M., Hall, R., Zhang, L., Singh, A. (2003). Real-time control of buses for schedule coordination at a terminal. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 37(2), pp. 145-164.
8. Sorensen, C.H., Longva, F. (2011). Increased coordination in public transport—which mechanisms are available? *Transport Policy*, Vol. 18(1), pp. 117-125.
9. Vdovychenko, V.O., Samchuk, G.O. (2016). Development of a mathematical model of public transport interchanges functioning. *Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI». Seriya: Mehaniko-tehnologichni sistemi ta kompleksi*, Vol. 17, pp. 56-61.
10. Wu, W., Liu, R., Jin, W. (2016). Designing robust schedule coordination scheme for transit networks with safety control margins. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 93, pp. 495-519.
11. Nesheli, M.M., Ceder, A.A. (2015). Improved reliability of public transportation using real-time transfer synchronization. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 60, pp. 525-539.
12. Ibarra-Rojas, O. J., López-Irarragorri, F., Rios-Solis, Y. A. (2015). Multiperiod bus timetabling. *Transportation science*, Vol. 50(3), pp. 805-822.
13. Li, L., Zhang, H., Wang, X., Lu, W., Mu, Z. (2011). Urban transit coordination using an artificial transportation system. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(2), pp. 374-383.
14. Wu, Y., Yang, H., Tang, J., Yu, Y. (2016). Multi-objective re-synchronizing of bus timetable: Model, complexity and solution. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67, pp. 149-168.

Стаття надійшла 12.11.2017.