

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 656.22
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-5-3>



Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 5 (102). С. 24–28

Оптимальный режим взаимодействия наземного городского пассажирского транспорта с железнодорожным транспортом в ТПУ



Сергей ВАКУЛЕНКО



Надежда ЕВРЕЕНОВА



Кирилл КАЛИНИН

Сергей Петрович Вакулenco¹, Надежда Юрьевна Евреенова², Кирилл Антонович Калинин³

^{1, 2, 3} Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ nevreenova@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Развитие инфраструктуры транспортно-пересадочного узла в настоящее время необходимо для обеспечения растущего спроса на пассажирские услуги и недопущения инфраструктурных ограничений технологической модернизации транспорта в целом. Крупномасштабные инфраструктурные проекты имеют выраженный комплексный характер, вовлекая в свою сферу множество сопряжённых отраслей, что приводит, в конечном счёте, к дополнительному приращению ВВП. Современный транспортно-пересадочный узел – это общественно-деловой центр, который обеспечивает качество услуг, безопасность, технологическую надёжность и формирует экономически активную среду на базе развития пассажирской инфраструктуры. Учитывая последние мировые тренды в области пассажирских перевозок – мультимодальность, скорость, комфорт и безопасность перевозок пассажиров – остро возникла необходимость создания современных транспортно-пересадочных узлов.

Минимизации времени пересадки пассажира между взаимодействующими видами транспорта в ТПУ можно достичь путём согласования контактных графиков работы

разных видов транспорта. Для этого, в первую очередь, необходимо решить задачу определения оптимального режима взаимодействия наземного городского пассажирского транспорта с железнодорожным транспортом.

Целью исследования в данной статье выступает определение режима подвода наземного городского пассажирского транспорта, при котором обеспечивается минимальное время нахождения пассажира в ТПУ в соответствии с установленным режимом движения электропоездов для данного транспортно-пересадочного узла ТПУ. Для уменьшения размерности задачи принято, что все электропоезда будут иметь одинаковую композицию.

В контексте исследования были задействованы методы теории расписаний. В качестве результата исследования приведена формализованная задача определения оптимального режима взаимодействия наземного городского пассажирского транспорта в транспортно-пересадочных узлах на примере взаимодействия железнодорожного и городского автомобильного транспорта с учётом всех имеющихся ограничений.

Ключевые слова: взаимодействие видов транспорта, теория расписаний, наземный городской пассажирский транспорт, транспортно-пересадочный узел, железнодорожный транспорт.

Для цитирования: Вакулenco С. П., Евреенова Н. Ю., Калинин К. А. Оптимальный режим взаимодействия наземного городского пассажирского транспорта с железнодорожным транспортом в ТПУ // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 5 (102). С. 24–28. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-5-3>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Инфраструктура транспортно-пересадочного узла (ТПУ) является важной составной частью пассажирского комплекса страны [1]. ТПУ как важнейший элемент транспортной инфраструктуры, обеспечивающий пассажирское сообщение, имеет большое социально-экономическое значение [2–4]. Современный ТПУ может и должен рассматриваться как точка роста социальной и деловой активности населения. В зарубежной практике функционирования ТПУ накоплен богатый опыт создания многофункциональных общественно-деловых комплексов [5–7]. Примеры таких ТПУ мы видим в Европе, странах Азии, в США.

Значимым аспектом повышения качества обслуживания пассажиров в ТПУ является минимизация времени пересадки пассажира между взаимодействующими видами транспорта [8], которую можно достичь путём согласования контактных графиков работы разных видов транспорта. В первую очередь необходимо решить задачу об определении оптимального режима взаимодействия наземного городского пассажирского транспорта (НГПТ) с железнодорожным транспортом [9; 10], используя методы теории расписаний [11–13].

ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сформулируем задачу определения оптимального режима взаимодействия видов транспорта в ТПУ на примере взаимодействия железнодорожного транспорта и НГПТ (автобусы, троллейбусы, трамваи, маршрутные такси, такси, личный автотранспорт).

В ТПУ прибывают электропоезда с пассажирами, пересеживающимися на НГПТ назначением в $n \in [1 \dots N]$ пунктов, при этом место расположения рассматриваемого ТПУ обозначим $n_0 = 0$. С каждого из этих пунктов в ТПУ прибывают пассажиры с целью совершения пересадки на электропоезд. Известны вместимость и параметры рассматриваемого ТПУ, число маршрутов городского транспорта, взаимодействующих в ТПУ, композиция электропоездов различных назначений.

Цель исследования – определить режим подвода городского пассажирского транспорта, при котором обеспечивается минимальное время нахождения пассажира в ТПУ в течение периода планирования $t \in [0 \dots T]$, разделённого на ϑ_{max} равных промежутков в соответствии с установленным режимом движения электропоездов для рассматриваемого ТПУ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Математическая формулировка задачи

Для формализации задачи опишем работу каждого вида транспорта и ТПУ в виде системы ограничений.

Работа железнодорожного транспорта

Пусть имеется характеристика выделенных временных периодов $pt_1, pt_2, \dots, pt_\vartheta, \dots, pt_{\vartheta_{max}}$, $pt \in \mathbb{N}$, где протяжённость характеризуемого периода зависит от величины дискретизации задач, каждая из которых представляет собой приведённую оценку $\frac{T}{\vartheta}$, мин рассматриваемого периода работы ТПУ. Каждый pt_ϑ характеризуется моментом времени начала промежутка t_i^{ϑ} и моментом его окончания t_{i+1}^{ϑ} .

Для уменьшения размерности задачи предположим, что все электропоезда будут иметь одинаковую композицию [14–16], тогда максимальное число пассажиров, которое может прибыть электропоездом, обозначим g , время посадки в электропоезд и высадки из него примем τ . В качестве дополнительного ограничения примем, что посадка в электропоезд одного направления может начинаться только после высадки пассажиров из него [17–19].

Сформулируем эти ограничения следующим образом: $0 \leq t_i^{\vartheta} < t_{i+1}^{\vartheta} \leq T$, $(t_{i+1}^{\vartheta} - t_i^{\vartheta}) \geq 2\tau$.

Работа НГПТ

Обозначим τ_n – время движения городского пассажирского транспорта в n пункт, мин; общее количество подвижного состава городского пассажирского транспорта следующего в n пункт за рассматриваемый период T обозначим $s \in [1 \dots S]$,

$\tau_{s_{min}^s}$ – время посадки/высадки в НГПТ в пункте n ; $Q(t_i^{\vartheta}) = \{q_n(t_i^{\vartheta})\}$ $n \in \overline{1, N}$ – вектор наличия пассажиров для доставки в ТПУ; $q_n(t_i^{\vartheta}) = 1$, если в пункте n есть пассажиры, которые в момент t_i^{ϑ} могут быть доставлены в ТПУ и $q_n(t_i^{\vartheta}) = 0$ в противном случае; M_n^s – максимальное число рейсов НГПТ (s) из ТПУ в пункт n ; P – пропускная способность ТПУ по обработке НГПТ. Городской транспорт назначением в пункт n имеет разную вместимость h_n^s .

Составим систему ограничений, описывающую транспортный процесс при помощи булевых переменных (1–12).





$$\overline{U_{0n}^{sm_n^s}(t_i^g)} = \begin{cases} 1, & \text{если в момент } t_i^g \text{ городской транспорт } s \\ & \text{в } m_n^s \text{ рейсе движется с пассажирами из ТПУ в пункт } n; \\ 0 & \text{в остальных случаях;} \end{cases} \quad (1)$$

$$U_{0n}^{sm_n^s}(t_i^g) = \begin{cases} 1, & \text{если в момент } t_i^g \text{ городской транспорт } s \\ & \text{в } m_n^s \text{ рейсе движется без пассажиров из ТПУ в пункт } n; \\ 0 & \text{в остальных случаях;} \end{cases} \quad (2)$$

$$\overline{U_{n0}^{sm_0^s}(t_i^g)} = \begin{cases} 1, & \text{если в момент } t_i^g \text{ городской транспорт } s \text{ в } m_0^s \text{ рейсе} \\ & \text{движется с пассажирами в ТПУ из пункта } n; \\ 0 & \text{в остальных случаях;} \end{cases} \quad (3)$$

$$U_{n0}^{sm_0^s}(t_i^g) = \begin{cases} 1, & \text{если в момент } t_i^g \text{ городской транспорт } s \text{ в } m_0^s \text{ рейсе} \\ & \text{движется без пассажиров в ТПУ из пункта } n; \\ 0 & \text{в остальных случаях;} \end{cases} \quad (4)$$

$$V_{0n}^{sm_n^s}(t_i^g) = \overline{U_{0n}^{sm_n^s}(t_i^g)} + U_{0n}^{sm_n^s}(t_i^g) \quad (5)$$

$$V_{n0}^{sm_0^s}(t_i^g) = \overline{U_{n0}^{sm_0^s}(t_i^g)} + U_{n0}^{sm_0^s}(t_i^g) \quad (6)$$

$$\overline{Z_n^{sm_n^s}(t_i^g)} = \begin{cases} 1, & \text{если в момент } t_i^g \text{ городской транспорт } s \text{ после} \\ & m_n^s \text{ рейса находится под посадкой в пункте } n; \\ 0 & \text{в остальных случаях;} \end{cases} \quad (7)$$

$$Z_n^{sm_n^s}(t_i^g) = \begin{cases} 1, & \text{если в момент } t_i^g \text{ городской транспорт } s \text{ после} \\ & m_n^s \text{ рейса находится под высадкой в пункте } n; \\ 0 & \text{в остальных случаях;} \end{cases} \quad (8)$$

$$\overline{Z_0^{sm_0^s}(t_i^g)} = \begin{cases} 1, & \text{если в момент } t_i^g \text{ городской транспорт } s \text{ после} \\ & m_0^s \text{ рейса находится под посадкой в ТПУ;} \\ 0 & \text{в остальных случаях;} \end{cases} \quad (9)$$

$$Z_0^{sm_0^s}(t_i^g) = \begin{cases} 1, & \text{если в момент } t_i^g \text{ городской транспорт } s \text{ после} \\ & m_0^s \text{ рейса находится под высадкой в ТПУ;} \\ 0 & \text{в остальных случаях;} \end{cases} \quad (10)$$

$$W_n^{sm_n^s}(t_i^g) = \overline{Z_n^{sm_n^s}(t_i^g)} + Z_n^{sm_n^s}(t_i^g); \quad (11)$$

$$W_0^{sm_0^s}(t_i^g) = \overline{Z_0^{sm_0^s}(t_i^g)} + Z_0^{sm_0^s}(t_i^g). \quad (12)$$

В любой момент t_i^g на рассматриваемом интервале P^t любое транспортное средство s может находиться только в одном из следующих восьми состояний: в движении из ТПУ в пункт n в рейсе m_n^s с пассажирами и без; в движении из пункта n в ТПУ в рейсе m_0^s с пассажирами и без; в ТПУ после m_0^s рейса под посадкой и под высадкой; в пункте n после рейса m_n^s под посадкой и под высадкой.

Для каждого вида НГПТ в любые два последовательных момента времени $t_i^g, t_{i+1}^g \in [0, T]$ имеет место только одна из восьми ситуаций при движении по связанному маршруту в момент:

– t_i^g и t_{i+1}^g транспортное средство движется в пункт n из ТПУ;

– t_i^g и t_{i+1}^g транспортное средство движется из пункта n в ТПУ;

– t_i^g НГПТ движется в пункт n из ТПУ и в момент t_{i+1}^g он находится в пункте n ;

– t_i^g НГПТ движется в ТПУ из пункта n и в момент t_{i+1}^g он находится в ТПУ;

– t_i^g и t_{i+1}^g НГПТ находится в пункте n ;

– t_i^g и t_{i+1}^g транспортное средство находится в ТПУ;

– t_i^g НГПТ находится в пункте n и в момент t_{i+1}^g он движется в ТПУ;

– t_i^g НГПТ находится в ТПУ и в момент t_{i+1}^g он движется в пункт n .

Для того, чтобы НГПТ s находился в каждые два последовательных момента t_i^g и t_{i+1}^g только в одной из восьми перечисленных ситуаций, необходимо и достаточно следующих ограничений:

$$\sum_{m_n^s=1}^{M_n^s} U_{0n}^{sm_n^s}(t_i^g) + \sum_{m_{n+k}^s=1}^{M_{n+k}^s} V_{0(n+k)}^{sm_{n+k}^s}(t_{i+1}^g) \leq 1, \quad (13)$$

при этом $\forall s \in \overline{1, S}, \forall n \in \overline{1, N}, \forall t_i^g, t_{i+1}^g \in \overline{0, T}$;
 k – переменная характеризующая разницу
 в порядковом номере пункта n и всех остальных рассматриваемых пунктов в массиве
 ($k < n$; $k \in [1-N; N-1]$ $0 < n+k < N$; $k \in \mathbb{Z}$).

Эти ограничения запрещают ситуацию, при которой транспортное средство s в два последовательных момента времени движется из ТПУ в два разных пункта.

Ограничение

$$\sum_{m_{n,k}^s=1}^{M_{n,k}^s} V_{n0}^{sm_n^s}(t_i^g) + \sum_{m_{n+k,k}^s=1}^{M_{n+k,k}^s} V_{(n+k)0}^{sm_{n+k}^s}(t_{i+1}^g) \leq 1 \quad (14)$$

запрещает ситуацию, при которой НГПТ s в два последовательных момента времени движется в ТПУ из двух разных пунктов.

Ограничение

$$\sum_{m_{n,k}^s=1}^{M_{n,k}^s} W_{n,n+k}^{sm_n^s}(t_i^g) + \sum_{\substack{k=1-N \\ k \neq n}}^{M_{n+k,k}^s} W_{n+k,n}^{sm_{n+k}^s}(t_{i+1}^g) \leq 1 \quad (15)$$

запрещает ситуацию, в которой транспортное средство s в два последовательных момента времени находится в разных пунктах.

Ограничения

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m_{n,0}^s=1}^{M_{n,0}^s} V_{n0}^{sm_n^s}(t_i^g) + \sum_{\substack{k=1-N \\ k \neq n}}^{M_{n+k,k}^s} W_{n+k,n}^{sm_{n+k}^s}(t_{i+1}^g) \leq 1; \quad (16)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m_{n,0}^s=1}^{M_{n,0}^s} U_{0n}^{sm_n^s}(t_i^g) + \sum_{\substack{k=1-N \\ k \neq n}}^{M_{n+k,k}^s} W_{n+k,n}^{sm_{n+k}^s}(t_{i+1}^g) \leq 1 \quad (17)$$

запрещают ситуацию, в которой НГПТ s в момент t_i^g движется из пункта n в ТПУ, а в следующий момент t_{i+1}^g находится в пункте $n+k$ и когда в момент t_i^g движется из ТПУ в пункт n , а в момент t_{i+1}^g находится в пункте $n+k$.

Ограничения

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m_{n,0}^s=1}^{M_{n,0}^s} U_{n0}^{sm_n^s}(t_i^g) + \sum_{m_{n+k,k}^s=1}^{M_{n+k,k}^s} Z_{n,n+k}^{sm_{n+k}^s}(t_i^g) \leq 1, \quad (18)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m_{n,0}^s=1}^{M_{n,0}^s} U_{0n}^{sm_n^s}(t_i^g) + \sum_{m_{n+k,k}^s=1}^{M_{n+k,k}^s} Z_{n,n+k}^{sm_{n+k}^s}(t_i^g) \leq 1 \quad (19)$$

запрещают ситуацию, в которой НГПТ s движется в момент t_i^g в пункт n (в ТПУ) с пассажирами, а в момент t_{i+1}^g осуществляет посадку в пункте n (в ТПУ).

Ограничения

$$\sum_{j=1}^N |V_{n0}^{sm_n^s}(t_i^g) + \sum_{m_{n+k,k}^s=1}^{M_{n+k,k}^s} V_{(n+k)0}^{sm_{n+k}^s}(t_{i+1}^g)| \leq 1, \quad (20)$$

$$\sum_{n=1}^N |V_{0n}^{sm_n^s}(t_i^g) + \sum_{m_{n+k,k}^s=1}^{M_{n+k,k}^s} V_{0n}^{sm_{n+k}^s}(t_{i+1}^g)| \leq 1 \quad (21)$$

запрещают ситуацию, в которой НГПТ s в два последовательных момента времени движется в разных рейсах между ТПУ и любым из пунктов.

Ограничение

$$\sum_{n=1}^N |W_{n,n+k}^{sm_n^s}(t_i^g) + \sum_{m_{n+k,k}^s=1}^{M_{n+k,k}^s} W_{n+k,n}^{sm_{n+k}^s}(t_{i+1}^g)| \leq 1 \quad (22)$$

запрещает ситуацию, в которой городской пассажирский транспорт s в два последовательных момента времени находится (после разных рейсов) в любом пункте.

В каждый момент $t_i^g \in \overline{0, T}$ число подвижного состава НГПТ, находящегося в ТПУ, не должно превышать его пропускной способности по обработке НГПТ:

$$\sum_{s=1}^S \sum_{m_{n,0}^s=1}^{M_{n,0}^s} W_{0n}^{sm_n^s}(t_i^g) \leq P. \quad (23)$$

Условие на вывоз пассажиров запрещает ситуацию, когда НГПТ выходит из пункта n с пассажирами в момент t_{i+1}^g , а в предыдущий момент в пункте n не было пассажиров для вывоза в ТПУ.

Оно записывается в виде:

$$\sum_{m_{n,0}^s=1}^{M_{n,0}^s} Z_{n,n}^{sm_n^s}(t_i^g) + \sum_{m_{n,0}^s=1}^{M_{n,0}^s} U_{n0}^{sm_n^s}(t_{i+1}^g) \leq 1, \quad (24)$$

$$\forall t_i^g, n, q_n(t_i^g) = 0.$$

Начальные и конечные условия задаются путём фиксации всех переменных:

$$V_{0n}^{sm_n^s}(0), V_{0n}^{sm_n^s}(T), U_{0j}^{Sp_{0j}}(0), U_{0j}^{Sp_{0j}}(T),$$

$$W_{n,n+k}^{sm_n^s}(0), W_{n,n+k}^{sm_n^s}(T), W_{0n}^{sm_n^s}(0), W_{0n}^{sm_n^s}(T).$$

Работа ТПУ

$\Omega(t_i^g)$ – число пассажиров, находящихся в ТПУ в момент t_i^g ; Ω_0 – число пассажиров, находящихся в ТПУ к моменту $t=0$; g – максимальное число пассажиров, которое может прибыть электропоездом; h^s – максимальное число пассажиров, которое может перевезти городской транспорт s ; Ω_{max} – максимальное число пассажиров, которое может одновременно находиться в ТПУ.

Должны быть выполнены соотношения:

$$\Omega(t_i^g) \leq \Omega_{max} \quad \forall t_i^g \in [0, T], \quad (25)$$

$$\Omega(t_i^g) \leq \Omega_{max} - g \quad \forall t_i^g \in [pt_1, pt_2, \dots, pt_{g-1}, \dots, pt_{g_{max}}], \quad (26)$$

$$\Omega(t_{i+1}^g) = \Omega(t_i^g) + \left(\sum_{n=1}^N \sum_{m_{n,0}^s=1}^{M_{n,0}^s} \sum_{s=1}^S Z_{0n}^{sm_n^s}(t_i^g) * h^s \right) - \left(\sum_{n=1}^N \sum_{m_{n,0}^s=1}^{M_{n,0}^s} \sum_{s=1}^S Z_{0n}^{sm_n^s}(t_i^g) * \gamma^s h^s \right) + g \gamma^g h^g, \quad (27)$$





где γ^s – коэффициент заполнения городского транспортного средства, $\gamma^s \in [0; 1]$;

γ_g^s – коэффициент заполнения пригородного электропоезда, прибывающего или отправляющегося в момент времени t_i^s , $\gamma_g^s \in [-1; 1]$, в случае если в момент времени t_i^s отправления электропоезда не происходит $\gamma_g^s = 0$.

Таким образом, рассмотренную задачу можно математически сформулировать как нахождение минимума $f = \sum_{i=0}^T \Omega(t_i^s)$ $f \rightarrow \min$ при соблюдении всех перечисленных ограничений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Козлов П. А., Вакулenco С. П., Колокольников В. С. Проблема организации единой транспортной системы // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 3 (67). – С. 96–101. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30102272>. Доступ 15.11.2022.
2. Tuominen, A., Rehunen, A., Peltomaa, J., Mäkinen, K. Facilitating practices for sustainable car sharing policies – An integrated approach utilizing user data, urban form variables and mobility patterns. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 2019, Vol. 2, art. no. 100055. DOI: 10.1016/j.trp.2019.100055.
3. Gonzalez-Urango, H., Pira, M.L., Inturri, G., Ignaccolo, M., Garcia-Melón, M. Designing walkable streets in congested touristic cities: The case of Cartagena de Indias, Colombia. Transportation Research Procedia, 2020, Vol. 45, pp. 309–316. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.03.021.
4. Cramer, V., Torgersen, S., Kringlen, E. Quality of life in a city: The effect of population density. Social Indicators Research, 2004, Vol. 69 (1), pp. 103–116. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:SOCI.0000032663.59079.0b> [платный доступ для подписчиков].
5. Pacione, M. Urban environmental quality and human wellbeing – A social geographical perspective. 2003. Landscape and Urban Planning, 2003, Vol. 65 (1–2), pp. 19–30. DOI: 10.1016/S0169-2046(02)00234-7 [ограниченный доступ для подписчиков].
6. Liya Yao, Lishan Sun, Zhiyong Zhang, Shuwei Wang, Jian Rong. Research on the Behavior Characteristics of Pedestrian Crowd Weaving Flow in Transport Terminal. Mathematical Problems in Engineering, 2012, art. no. 264295. DOI: 10.1155/2012/264295.
7. Li, Shaowei, Chen, Yongsheng. Passenger Flow Forecast Algorithm for Urban Rail Transit. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering, February 2014, Vol. 12, No. 2, pp. 1471–1479. DOI: <http://dx.doi.org/10.11591/telkomnika.v12i2.3810>.
8. Козлов П. А., Колокольников В. С., Копылова Е. В. Об имитационном моделировании и имитационных системах

// Транспорт Урала. – 2019. – № 1 (60). – С. 3–6. DOI: 10.20291/1815-9400-2019-1-3-6.

9. Евреенова Н. Ю., Калинин К. А. Управление пассажиропотоком крупнейших ТПУ // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 3 (83). – С. 105–113. DOI: 10.46973/0201-727X_2021_3_105.

10. Власов Д. Н. Интеграция железнодорожного транспорта в интермодальную транспортную систему города // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 9. – С. 31–38. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.31-38.

11. Резер С. М. Взаимодействие транспортных систем. – М.: Наука, 1985. – 248 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/rezer-s-m-vzaimodeystvie-transportnyh-sistem_6f97cd56303.html. Доступ 15.11.2022.

12. Лазарев А. А., Мусатов Е. Г., Гафаров Е. Р., Кварацхелия А. Г. Теория расписаний. Задачи железнодорожного планирования: Монография. – М.: ИПУ РАН, 2012. – 92 с. ISBN: 978-5-91450-102-7.

13. Пазойский Ю. О., Шубко В. Г., Вакулenco С. П. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (примеры, задачи, модели, методы и решения). – М.: УМЦ ЖДТ, 2009. – 342 с. ISBN 978-5-89035-566-9.

14. Тимухина Е. Н., Кашеева Н. В., Окулов Н. Е., Лесных В. В. Проблематика функционирования транспортных узлов в России и за рубежом // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – № 3 (93). – С. 65–72. [Электронный ресурс]: <https://www.samgups.ru/upload/iblock/4bb/r9kdz1wdm83u5nrqdn0v2v2sftxd6bax.pdf>. Доступ 15.11.2022.

15. Рахмангулов А. Н., Мишкурков П. Н., Александрин Д. В. Имитационные модели в цифровых двойниках железнодорожных станций // В сб.: Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки. Тр. международной научно-практ. конференции, посвящённой 125-летию университета. – М., 2021. – С. 574–582. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48361972>. Доступ 15.11.2022.

16. Баранов Л. А., Сидоренко В. Г., Сафронов А. И. Особенности автоматизированного планирования движения поездов в интеллектуальных системах управления внеуличного городского транспорта в условиях интенсивного движения // В сб.: Интеллектуальные транспортные системы. Материалы Международной научно-практ. конференции. – М.: РУТ (МИИТ), 2022. – С. 59–70. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48449551>. Доступ 15.11.2022.

17. Баранов Л. А., Сафронов А. И., Сидоренко В. Г. Планирование движения поездов в интеллектуальных транспортных системах // Надёжность. – 2022. – Т. 22. – № 3. – С. 35–43. DOI 10.21683/1729-2646-2022-22-3-35-43.

18. Vakulenco, S., Evreenova, N. Transport hubs as the basic of multimodal passenger transportation. Proceedings of 2019 12th International Conference «Management of Large-Scale System Development», MLSD 2019. 8910964. DOI: 10.1109/MLSD.2019.8910964.

19. Danilina, N., Vlasov, D., Teplova, I. Social-oriented approach to street public spaces design. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, Vol. 1030 (1), pp. 012059. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012059. ●

Информация об авторах:

Вакулenco Сергей Петрович – кандидат технических наук, профессор, директор Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта, Москва, Россия, vakulenkosp@mail.ru.

Евреенова Надежда Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры управления транспортным бизнесом и интеллектуальными системами Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта, Москва, Россия, pevreanova@mail.ru.

Калинин Кирилл Антонович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры управления транспортным бизнесом и интеллектуальными системами Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта, Москва, Россия, kalinin.k.a@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 10.10.2022, одобрена после рецензирования 16.11.2022, принята к публикации 18.11.2022.