

Ю.О. Гантимурова¹, В.Е. Гозбенко^{1,2}, В.С. Ермолина¹

¹ Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

² Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ СЕТИ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА С ЦЕЛЬЮ УСТАНОВЛЕНИЯ СВЯЗАННОСТИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Аннотация. Установление устойчивых транспортных связей является приоритетным направлением в рамках Стратегии социально-экономического развития регионов Российской Федерации. Интенсивное развитие городов, субурбанизация требуют изменений в функционировании общественного транспорта, которые в свою очередь будут направлены на увеличение количества поездок при минимизации социальных издержек и негативного воздействия на окружающую среду. Однако перевозчики не меняют существующие маршруты движения общественного транспорта, остановочные пункты или расписание, оправдывая это привычками пассажиров и стабильным пассажиропотоком на сложившихся направлениях. Такой подход может привести к несоответствию между доступностью услуг общественного транспорта и спросом на оказываемые услуги, поэтому планирование и совершенствование системы общественного транспорта должно основываться на исследованиях эффективности применения интеллектуальных транспортных систем для анализа транспортных связей в регионе. Существуют различные подходы к этой проблеме. В статье представлен метод оценки доступности услуг общественного транспорта с использованием пространственно-временного анализа. Предлагаемый метод основан на разделении территории на области, а затем, используя предложенные показатели, каждая область оценивается как с точки зрения текущего уровня доступности услуг общественного транспорта, так и потенциального спроса на транспорт. Сравнительный анализ с использованием пространственных инструментов позволяет оценить степень соответствия этих значений и определить области, в которых требуется повышение качества услуг общественного транспорта.

Ключевые слова: общественный транспорт; интеллектуальная транспортная система; геоинформационные системы; пространственный анализ; системный подход; связанность территорий; устойчивые транспортные связи; доступность.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект № МК-3495.2022.4).

J.O. Gantimurova¹, V.E. Gozbenko^{1,2}, V.S. Ermolina¹

¹ Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

² Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

ASSESSING ACCESSIBILITY OF THE PUBLIC TRANSPORT NETWORK TO ESTABLISH URBAN AREAS CONNECTIVITY

Abstract. The establishment of sustainable transport links is a priority within the framework of the Strategy for the socio-economic development of the regions of the Russian Federation. The intensive development of cities, suburbanization requires changes in the functioning of public transport, which in turn will be aimed at increasing the number of trips while minimizing social costs and negative environmental impacts. However, carriers do not change existing public transport routes, stops or schedules, justifying this with passenger habits and stable passenger traffic on established routes. Such an approach can lead to a mismatch between the availability of public transport services and the demand for the services provided, so the planning and improvement of the public transport system should be based on studies on the effectiveness of the use of intelligent transport systems to analyze transport links in the region. There are various approaches to this problem. The article presents a method for assessing the availability of public transport services using spatiotemporal analysis. The proposed method is based on dividing the territory into regions, and then, using the proposed indicators, each region is assessed in terms of both the current level of availability of public transport services and the potential demand for transport. Benchmarking using spatial tools allows you to assess the degree of agreement between these values and identify areas where improvement in the quality of public transport services is required.

Keywords: *public transport; intelligent transport system; geoinformation systems; spatial analysis; systems approach; sustainable transport links; availability.*

Acknowledgement

This work was supported by the Council for Grants of the President of the Russian Federation (Project No. MK-3495.2022.4).

Введение

Динамичное развитие городских районов и процесс субурбанизации вынуждают перевозчиков вносить изменения для обеспечения доступности общественного транспорта. С этой целью модифицируются существующие схемы движения общественного транспорта, вводятся новые маршруты, остановочные пункты. Эти мероприятия необходимы для обеспечения более широкого доступа к общественному транспорту, что обеспечит спрос на транспортные услуги. Доступность услуг общественного транспорта повышает мобильность и также является фактором ускорения городского развития [1, 2]. Проблема, связанная с этими изменениями в управлении общественным транспортом, заключается в том, как проводится оценка доступности в данном районе. В литературе встречаются различные подходы к проблеме, включая методы обследования или использование инструментов геоинформационных систем, однако в зависимости от цели, эти подходы могут позволить оценить только текущее местоположение подвижного состава общественного транспорта, остановочного пункта [3-6]. Для анализа функционирования всей системы общественного транспорта требуется системный подход и развитие комплексной интеллектуальной транспортной системы (ИТС), которая позволит учитывать ряд других факторов, оказывающих влияние на удовлетворение потребности в передвижении пассажиров на основе эффективного взаимодействия с окружающей средой.

В данной статье представлен метод оценки доступности общественного транспорта в городских районах с использованием показателей для выявления степени соответствия доступности услуг их потенциальному спросу: на основе анализа пространственных и временных аспектов выделяются районы с недостаточным доступом к общественному транспорту. Предлагаемый способ включает в себя разделение области на однородные сегменты, чтобы иметь возможность наблюдать изменения в доступности в пределах анализируемой области.

Метод исследования

Основное предположение метода состоит в разработке универсального подхода, который, основываясь на данных, получаемых с бортового оборудования подвижного состава (а в дальнейшем объединенных в комплексную ИТС), поддерживал бы процесс оценки соответствия уровня предложения общественного транспорта расчетному спросу на транспортные услуги. Для этой цели были использованы пространственные и временные измерения. Общая схема метода проиллюстрирована на рисунке 1 [7].

Для оценки доступности сети общественного транспорта с целью установления связанности городских территорий необходимо определить временной и пространственный охват анализа:

– относительно оценки доступности услуг общественного транспорта: временной анализ должен включать несколько периодов (межпиковые периоды (4:00-6:00, 9:00-14:00), пиковые периоды (6:00-9:00, 17:00-19:00));

– относительно оценки потенциального транспортного спроса: источники транспортной корреспонденции целесообразно разделить на пять категорий:

- категория 1 – индивидуальное жилищное строительство;
- категория 2 – малоэтажное многоквартирное жилищное строительство;
- категория 3 – многоквартирное жилищное строительство;
- категория 4 – объекты приложения труда;
- категория 5 – объекты образования.

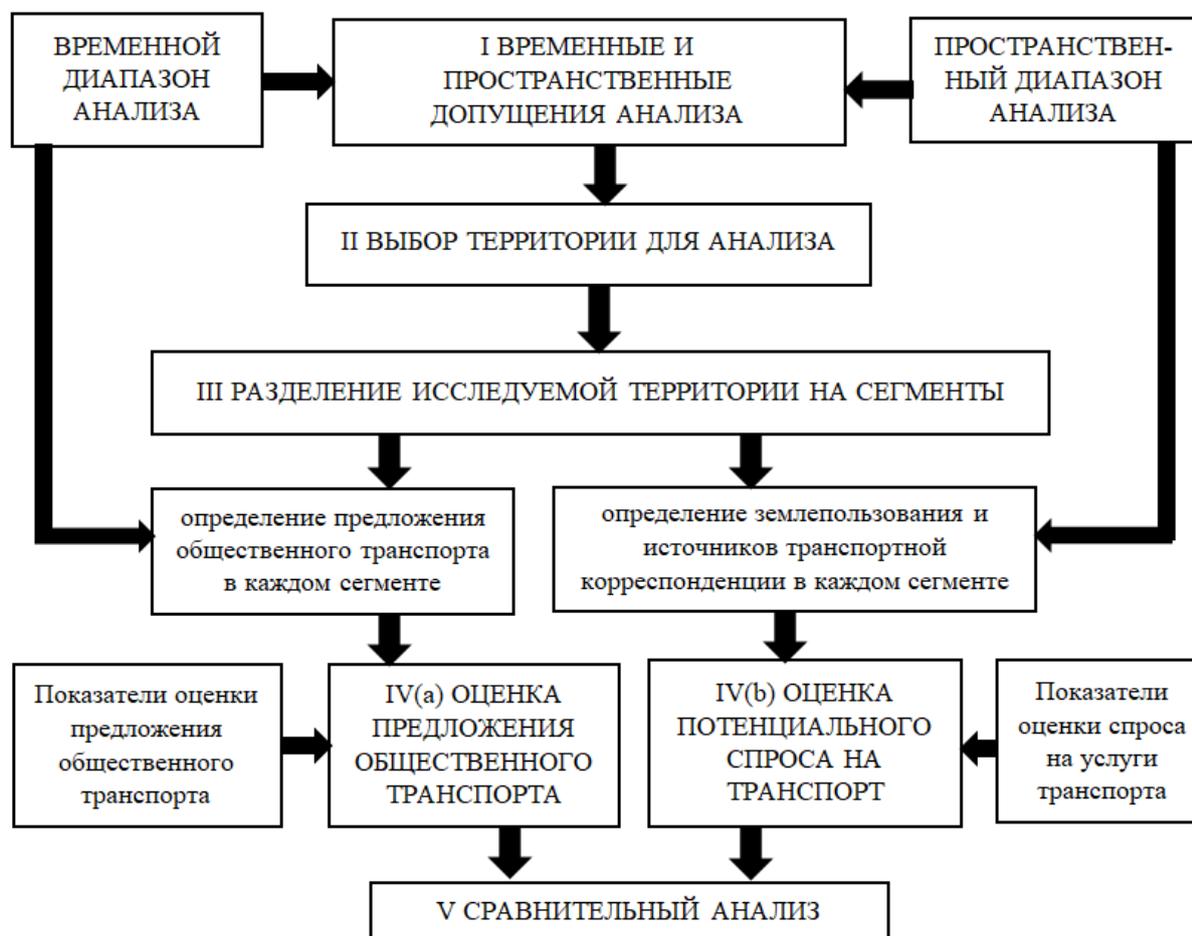


Рис. 1. Блок-схема методики оценки доступности сети общественного транспорта

Важным шагом является выбор территории для анализа и ее разделение на основные сегменты, что требует определения правил разграничения территории и ее окрестностей. Существует множество методов разграничения области. Один из них предполагает, что границы исследуемой территории могут быть определены на основе административных границ территориальной единицы, то есть города, района, или области [8-9].

Выбор способа разделения пространства зависит в первую очередь от цели исследования. Как правило, существуют две основные модели разделения географического пространства, тесно связанные с моделями пространственных данных: векторные и растровые модели. В случае векторных моделей область анализа делится на территориальные единицы неправильной формы, созданные на основе административных, структурных, технических или функциональных критериев. Это разделение используется в основном при построении транспортных моделей [3, 10, 11]. В свою очередь, растровые модели основаны на базовых областях правильной формы, которые представляют собой элементарные пространственные единицы с присвоением набора атрибутов. В этом случае значения атрибутов охватывают исследуемое географическое пространство. Такое разделение требует наложения регулярной сетки (например, треугольной, квадратной, шестиугольной) на анализируемую область.

При разделении исследуемой территории на основные сегменты правильной формы и принятии административных границ в качестве границ района особое внимание следует уделить областям, расположенным на границах. Прежде чем приступить к анализу, необходимо решить, как сегменты будут обрабатываться. Существует три возможных подхода:

- исключение областей, расположенных на административных границах исследуемой территории;

- включение областей, расположенных на административных границах исследуемой территории;
- анализ областей, расположенных на административных границах района, только в той части, которая принадлежит району (при этом требуется пересчитать атрибуты областей, учитывая их различную площадь по отношению к другим, площадь которых равна исследуемой территории).

Основываясь на заранее определенном пространственном и временном диапазоне анализа, необходимо определить предложение общественного транспорта, землепользование и источники транспортных корреспонденций в каждом сегменте. Они представляют собой входные данные для определения показателей оценки доступности общественного транспорта, а также потенциального спроса на транспорт [12, 13].

Заключительным этапом анализа является вычисление значения для каждого из выбранных показателей и оценка его уровня. Это позволяет провести сравнительный анализ доступности общественного транспорта и потенциального спроса на услуги общественного транспорта в каждой базовой области и определить области с большими расхождениями.

Оценка потенциального транспортного спроса

Уровень потенциального спроса на транспорте в каждом сегменте зависит от землепользования и источников транспортных корреспонденций, расположенных в этой области. Более того, можно предположить, что уровень потенциального спроса на услуги общественного транспорта в каждом базовом сегменте соответствует расчетному количеству людей, проживающих в данной области и/или использующих объекты тяготения спроса (источники транспортной корреспонденции). Таким образом, потенциальный спрос на транспортные услуги оценивается с использованием атрибутов источников транспортной корреспонденции в определенных категориях. Также при оценке потенциального транспортного спроса, вместо количества человек, использующих источники транспортной корреспонденции, расположенные в сегментах, наиболее точным является учет показателя плотности населения [14, 15].

Плотность населения, проживающего в индивидуальном жилье (категория 1) в i -м сегменте, будет определяться по формуле:

$$Z_i(1) = \frac{\alpha_{SF} \cdot SF_i}{A_i}, \text{ человек/км}^2 \quad (1)$$

где α_{SF} – среднее количество человек, проживающих в одном доме на одну семью (чел.);
 SF_i – количество домов на одну семью в i -м базовом сегменте;
 A_i – площадь i -го сегмента (км²).

Плотность населения, проживающего в малоэтажном многоквартирном жилье (категория 2) в i -м сегменте, может быть определена по формуле:

$$Z_i(2) = \frac{\alpha_{MF} \cdot b_{MF} \cdot K_{LMF} \cdot LMF_i}{A_i}, \text{ человек/км}^2 \quad (2)$$

где α_{MF} – среднее количество человек на 1 м² площади многоквартирного жилья (чел./м²);
 b_{MF} – доля площади многоквартирных зданий, предназначенных для жилья;
 K_{LMF} – коэффициент, определяющий среднюю этажность малоэтажных многоквартирных зданий;
 LMF_i – общая площадь малоэтажных многоквартирных зданий в i -м сегменте (м²).

Плотность населения, проживающего в многоквартирном жилом фонде (категория 3) в i -м сегменте, определяется как:

$$Z_i(3) = \frac{\alpha_{MF} \cdot b_{MF} \cdot K_{HMF} \cdot HMF_i}{A_i}, \text{ человек/км}^2 \quad (3)$$

где K_{HMF} – коэффициент, определяющий среднюю этажность высотных многоквартирных зданий;

HMF_i – общая площадь высотных многоквартирных зданий в i -м сегменте (m^2).

Плотность сотрудников на рабочих местах (категория 4) в i -м сегменте может быть оценена по формуле:

$$Z_i(4) = \frac{\alpha_{WP} \cdot WP_i}{A_i}, \text{ человек/км}^2 \quad (4)$$

где α_{WP} – среднее количество сотрудников на 1 m^2 площади рабочих мест (чел./ m^2),

WP_i – общая площадь зданий, являющихся рабочими местами в i -й сегменте (m^2).

Плотность обучающихся (категория 5) в i -м сегменте определяется по формуле:

$$Z_i(5) = \frac{SS_i \cdot HS_i}{A_i}, \text{ человек/км}^2 \quad (5)$$

где SS_i – общее количество обучающихся, посещающих общеобразовательные учреждения, расположенные в i -м сегменте (чел.);

HS_i – общее количество обучающихся, посещающих учреждения среднего и высшего образования, расположенные в i -м сегменте (чел.).

Оценка потенциального спроса на транспортные услуги для каждого i -ого сегмента будет определена на основе показателя, представляющего собой сумму плотности населения, оцененной для каждой из пяти категорий источников транспортной корреспонденции, согласно формуле:

$$Sum_Z_i = \sum_{c=1}^5 Z_i(c), \text{ человек/км}^2 \quad (6)$$

где $Z_i(c)$ – плотность населения в i -м сегменте, определенная для c -й категории источника транспортной корреспонденции [7].

Оценка доступности сети общественного транспорта

В зависимости от цели и объема исследования, а также выбранного метода для оценки транспортной связанности между сегментами территории можно выделить многочисленные показатели доступности общественного транспорта. Для проведенного анализа были выбраны четыре показателя, которые необходимо определить для каждого сегмента:

- плотность остановочных пунктов;
- среднее количество маршрутов, обслуживающих остановочный пункт;
- средний интервал движения между последовательными отправлениями общественного транспорта от остановочного пункта в разное время в течение дня;
- диапазон прямого воздействия общественного транспорта на конкретный сегмент исследуемой территории.

Плотность остановочных пунктов в i -м сегменте определяется как отношение количества остановочных пунктов к площади сегмента и определяется по формуле:

$$D_i = \frac{SSN_i}{A_i}, \text{ остановочных пунктов/км}^2 \quad (7)$$

где SSN_i – количество остановочных пунктов в i -м сегменте.

Среднее количество маршрутов общественного транспорта, обслуживающих остановочный пункт, расположенный в i -м сегменте, определяется как:

$$L_i = \frac{\sum_j SSL_{ji}}{SSN_i}, \text{ маршрутов/остановочный пункт} \quad (8)$$

где SSL_{ji} – количество маршрутов, обслуживающих j -й остановочный пункт в i -м сегменте.

Средний интервал времени между последовательными отправлениями транспортных средств общественного транспорта от остановочного пункта в i -м сегменте определяется для каждого из пяти периодов времени. Для одного t -го периода он рассчитывается по формуле:

$$T l_i(t) = \frac{SSN_i \cdot H(t)}{\sum_j \sum_l C_{lji}(t)}, \text{ минуты} \quad (9)$$

где $H(t)$ – продолжительность t -го периода (минуты);

$C_{lji}(t)$ – количество рейсов l -ого маршрута, обслуживающего j -й остановочный пункт на i -м сегменте в t -й период.

Диапазон прямого воздействия общественного транспорта в анализируемом сегменте – количество сегментов, связанных с анализируемым маршрутами общественного транспорта. Для анализа доступности сети общественного транспорта показатель определяется как количество сегментов s по меньшей мере с одним остановочным пунктом, соединенным непосредственно с анализируемым сегментом одним и тем же маршрутом (независимо от направления), который также обслуживает как минимум один остановочный пункт. Этот показатель определяется по формуле (10):

$$BF_i = \sum_k R_{ik}, i \neq k, \text{ количество сегментов} \quad (10)$$

где R_{ik} – двоичная переменная.

Двоичная переменная R_{ik} вычисляется для $i = k$ и достигает значения 1, если хотя бы один маршрут, обслуживающий остановочный пункт в i -м сегменте, также обслуживает хотя бы один остановочный пункт в k -м сегменте, в противном случае – значение 0, то есть отсутствуют такие маршруты [7, 14].

Сравнительный анализ

Основное допущение при анализе заключается в сравнении уровней показателей оценки доступности сети общественного транспорта с уровнями предполагаемого потенциального спроса на транспорт для каждого сегмента. Предполагается, что количество уровней для каждого из показателей одинаковы, и каждый из уровней соответствует определенным диапазонам значений, определяемым индивидуально для показателя.

В анализе использовались два показателя степени соответствия доступности сети общественного транспорта потенциальному спросу на транспорт. Обозначив в i -м сегменте уровень потенциального спроса на транспорт как $ML(\text{Sum_}Z_i)$, а уровни индивидуальных показателей для оценки доступности общественного транспорта, соответственно, как $ML(D_i)$, $ML(L_i)$, $ML(T l_i(t))$ и $ML(BF_i)$, оценка по соответствию этим уровням может быть определена по следующим зависимостям:

- абсолютная разница между уровнями индивидуальных показателей оценки доступности общественного транспорта и уровнем потенциального спроса на транспорт, рассчитанная по формулам:

$$ADL(D_i) = ML(D_i) - ML(\text{Sum_}Z_i), \quad (11)$$

$$ADL(L_i) = ML(L_i) - ML(\text{Sum_}Z_i), \quad (12)$$

$$ADL(T l_i(t)) = ML(T l_i(t)) - ML(\text{Sum_}Z_i), \quad (13)$$

$$ADL(BF_i) = ML(BF_i) - ML(\text{Sum_}Z_i), \quad (14)$$

- абсолютная разница между уровнем агрегированного показателя для оценки доступности услуг общественного транспорта и уровнем потенциального спроса на транспорт:

$$AADL(i, t) = AML(i, t) - ML(\text{Sum_}Z_i), \quad (15)$$

где уровень совокупного показателя $AML(i, t)$ рассчитывается как средневзвешенное значение уровней отдельных показателей для оценки доступности общественного транспорта:

$$AML(i, t) = w_1 \cdot ML(D_i) + w_w \cdot ML(L_i) + w_3 \cdot ML(T l_i(t)) + w_4 \cdot ML(BF_i), \quad (16)$$

с w_1 , w_2 , w_3 и w_4 , обозначающими веса для отдельных мер и удовлетворяющими следующим допущениям:

$$0 \leq w_u \leq 1 \wedge \sum_{u=1}^4 w_u = 1 \quad (17)$$

В результате получаем абсолютные показатели для оценки степени соответствия доступности сети общественного транспорта потенциальному спросу в каждом сегменте. Значения этих показателей оцениваются как для индивидуальных, так и для агрегированных данных, при этом значения показателей $ADL(T I_i(t))$ и $AADL(i,t)$ определяются для всех периодов дня [16]. Согласно предлагаемому способу, значения показателей формул (11)–(14) и (15), близкие к 0, представляют собой высокий уровень соответствия между предложением общественного транспорта и спросом в сегменте. Значение 0 означает, что предложение общественного транспорта точно соответствует спросу. Наибольшие положительные или отрицательные значения будут характеризовать высокий уровень несоответствия, при этом положительные значения указывают на завышение предложения общественного транспорта относительно потенциального спроса, а отрицательные значения – недооценку.

Заключение

В статье представлен метод оценки доступности сети общественного транспорта, учитывающий пространственные и временные аспекты. Важным этапом метода является сравнение оценки доступности сети общественного транспорта с оценкой потенциального спроса. В ходе анализа предлагается учитывать пространственные и временные различия в доступности общественного транспорта. Районы с низким потенциальным спросом на транспорт, расположенные на окраинах города и вдоль основных маршрутов, характеризуются наибольшим соответствием доступности общественного транспорта спросу. В свою очередь, наибольшие диспропорции в этом отношении наблюдаются в районах, характеризующихся отсутствием доступа к инфраструктуре общественного транспорта, а также в районах города с наибольшим спросом на общественный транспорт, которые не имеют достаточной транспортной инфраструктуры.

Методология исследования позволяет упростить оценку степени удовлетворения транспортных потребностей в отдельных районах города. Однако при этом не учитывается точное расположение остановочных пунктов в пределах анализируемых сегментов. В случае дальнейшего развития метода рекомендуется учитывать расположение транспортной инфраструктуры и источников транспортной корреспонденции в районах города. Кроме того, размер сегментов, на которые разделяется исследуемая область город, может повлиять на значения некоторых показателей. Предлагаемый подход можно рассматривать как предварительный этап исследования. В ходе дальнейшего углубленного анализа, сосредоточенного на основных сегментах, где были обнаружены значительные расхождения между предложением общественного транспорта и потенциальным спросом, следует учитывать применение транспортных моделей, построенных для данной местности; анализ других факторов для оценки доступности общественным транспортом; проведение анкетных опросов для выявления потоков спроса на поездки (матрица OD); проведение тщательного анализа предложения между отдельными транспортными зонами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гребенников В.В., Мунин Д.А., Левашев А.Г., Михайлов А.Ю. Виды транспортной доступности // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2012. № 1 (2). С. 56-61.
2. Tahmasbi B., Haghshenas H. Public transport accessibility measure based on weighted door to door travel time // Computers Environment and Urban Systems, 2019, Vol. 76, pp. 163–177. DOI:10.1016/j.compenvurbsys.2019.05.002.
3. Преловская Е.С., Михайлов А.Ю. Транспортное моделирование: от города к агломерации // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. № 3. С. 86.

4. Крипак М.Н., Колесник А.И. Проблемы и перспективы развития транспортной инфраструктуры в современных городах // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2014. Т. 1. № 1. С. 194-198.
5. Полтавская Ю.О. Применение геоинформационных систем для обеспечения устойчивого развития транспортной системы города // В сборнике: Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине. Сборник научных трудов VI Международной научной конференции. Под редакцией О.Г. Берестневой, В.В. Спицына, А.И. Труфанов, Т.А. Гладковой. 2019. С. 164-167.
6. Оленцевич В.А., Гозбенко В.Е. Задачи приспособления транспортной инфраструктуры к новым технологиям // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2021. № 8. С. 189-190.
7. Zochowska R., Kłos M.J., Soczówka P., Pilch M. Assessment of accessibility of public transport by using temporal and spatial analysis // Sustainability, 2022, Vol. 14, 16127. – DOI: 10.3390/su142316127.
8. Шаров М.И., Лебедева О.А. Влияние транспортного зонирования на функционирование маршрутной сети города // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 2 (62). С. 196-202. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).196-202.
9. Лебедева О.А. Анализ проектирования транспортных зон на основе моделирования сети // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2019. № 13. С. 172-177. DOI: 10.36629/2686-777x-2019-1-13-172-177.
10. Полтавская Ю. О. Моделирование процессов взаимодействия элементов транспортно-технологической системы региона / Ю. О. Полтавская, А. П. Хоменко, О. Д. Толстых // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. –№ 4 (68). – С. 158–165. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).158-165.
11. Lebedeva O., Kripak M. Modeling of public transport waiting time indicator for the transport network of a large city // В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2018 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2018. 2018. С. 04018. DOI: 10.1051/matecconf/201822404018.
12. Колесник М.Н., Гозбенко В.Е. Принципы создания информационно-планирующей и управляющей системы перевозками на автомобильном транспорте // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2007. № 3 (15). С. 46-52.
13. Антонов Д.В., Лебедева О.А. Основные принципы развития транспортных систем городов // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. № 8. С. 149-155.
14. Karon G., Zochowska R. Problems of quality of public transportation systems in smart cities—smoothness and disruptions in urban traffic. In modelling of the interaction of the different vehicles and various transport modes // Springer: Cham, Switzerland, 2020, pp. 383–414. DOI:10.1007/978-3-030-11512-8_9.
15. Chen J., Ni J., Xi C., Li S., Wang J. Determining intra-urban spatial accessibility disparities in multimodal public transport networks // Journal of Transport Geography, 2017, Vol. 65, pp. 123–133. DOI:10.1016/j.jtrangeo.2017.10.015.
16. Штоцкая А.А., Михайлов А.Ю. Оценка транспортной подвижности населения на основе дезагрегированных моделей // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 5 (124). С. 199-207. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-5-199-207.

REFERENCES

1. Grebennikov V.V., Munin D.A., Levashev A.G., Mikhailov A.Yu. Vidy transportnoy dostupnosti [Types of transport accessibility]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* [*Izvestiya vuzov. Investments. Construction. Real estate*], 2012, No. 1 (2), pp. 56-61.
2. Tahmasbi B., Haghshenas H. Public transport accessibility measure based on weighted door to door travel time // *Computers Environment and Urban Systems*, 2019, Vol. 76, pp. 163–177. DOI:10.1016/j.compenvurbsys.2019.05.002.

3. Prelovskaya Ye.S., Mikhaylov A.Yu. Transportnoye modelirovaniye: ot goroda k aglomeratsii [Transport modeling: from the city to the agglomeration]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Volgograd State Technical University], 2014, No 3, p. 86.

4. Kripak M.N., Kolesnik A.I. Problemy i perspektivy razvitiya transportnoy in-frastruktury v sovremennykh gorodakh [Problems and prospects for the development of transport infrastructure in modern cities]. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Collection of scientific works of the Angarsk State Technical University], 2014, V. 1, № 1, pp. 194-198.

5. Poltavskaya Y.O. Primeneniye geoinformatsionnykh sistem dlya obespecheniya ustoychivogo razvitiya transportnoy sistemy goroda [The use of geoinformation systems to ensure the sustainable development of the city's transport system]. *V sbornike: Informatsionnyye tekhnologii v nauke, upravlenii, sotsial'noy sfere i meditsine. Sbornik nauchnykh trudov VI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Pod redaktsiyey O.G. Berestnevoy, V.V. Spitsyna, A.I. Trufanov, T.A. Gladkovoy* [In the collection: Information technologies in science, management, social sphere and medicine. Collection of scientific papers of the VI International scientific conference. Edited by O.G. Berestneva, V.V. Spitsyna, A.I. Trufanov, T.A. Gladkova], 2019, pp. 164-167.

6. Olentsevich V.A., Gozbenko V.E. Zadachi prisposobleniya transportnoy infrastruktury k novym tekhnologiyam [Tasks of adapting the transport infrastructure to new technologies]. *Sovremennyye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress* [Modern technologies and scientific and technical progress], 2021, No. 8, pp. 189-190.

7. Zochowska R., Kłos M. J., P. Soczówka, Pilch M. Assessment of Accessibility of Public Transport by Using Temporal and Spatial Analysis // *Sustainability*, 2022, Vol. 14, 16127. – DOI: 10.3390/su142316127.

8. Sharov M.I., Lebedeva O.A. Vliyaniye transportnogo zonirovaniya na funktsionirovaniye marshrutnoy seti goroda [Influence of transport zoning on the functioning of the route network of the city]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2019, No. 2 (62), pp. 196-202. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).196-202.

9. Lebedeva O.A. Analiz proyektirovaniya transportnykh zon na osnove modelirovaniya seti [Analysis of the design of transport zones based on network modeling]. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Angarsk State Technical University], 2019, No. 13, pp. 172-177. DOI: 10.36629/2686-777x-2019-1-13-172-177.

10. Poltavskaya Yu. O., Khomenko A. P., Tolstykh O. D. Modelirovanie protsessov vzaimodeistviya elementov transportno-tekhnologicheskoi sistemy regiona [The research of interaction processes of the regional transportation and technological system elements]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 4 (68), pp. 158–165. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).158-165.

11. Lebedeva O., Kripak M. Modeling of public transport waiting time indicator for the transport network of a large city // *MATEC Web of Conferences. 2018 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2018*. 2018. C. 04018. DOI: 10.1051/mateconf/201822404018.

12. Kolesnik M.N., Gozbenko V.E. Printsipy sozdaniya informatsionno-planiruyushchey i upravlyayushchey sistemy perevozkami na avtomobil'nom transporte [Principles of creating an information-planning and control system for road transport]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2007, No. 3 (15), pp. 46-52.

13. Antonov D.V., Lebedeva O.A. Osnovnyye printsipy razvitiya transportnykh sistem gorodov [Basic principles for the development of transport systems of cities]. *Vestnik Angarskoy gosudarstvennoy tekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the Angarsk State Technical Academy], 2014, No 8, pp. 149-155.

14. Karon G., Zochowska R. Problems of quality of public transportation systems in smart cities—smoothness and disruptions in urban traffic. In modelling of the interaction of the different vehicles and various transport modes // *Springer: Cham, Switzerland*, 2020, pp. 383–414. DOI:10.1007/978-3-030-11512-8_9.

15. Chen J., Ni J., Xi C., Li S., Wang J. Determining intra-urban spatial accessibility disparities in multimodal public transport networks // *Journal of Transport Geography*, 2017, Vol. 65, pp. 123–133. DOI:10.1016/j.jtrangeo.2017.10.015.

16. Shtotskaya A.A., Mikhailov A.Yu. Otsenka transportnoy podvizhnosti naseleniya na osnove dezagregirovannykh modeley [Estimation of transport mobility of the population based on disaggregated models]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Irkutsk State Technical University]*, 2017, V. 21, No. 5 (124), pp. 199-207. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-5-199-207.

Информация об авторах

Гантимурова Юлия Олеговна – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте», Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

Гозбенко Валерий Ерофеевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Математика», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, профессор кафедры «Управление на автомобильном транспорте», Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Ермолина Владислава Сергеевна – обучающаяся группы ТТП-20-1, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: vladislava.ermolina@bk.ru

Information about the authors

Yuliya Olegovna Gantimurova – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Subdepartment of Management of Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

Valerii Erofeevich Gozbenko – Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of the Subdepartment of Mathematics, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Professor of the Subdepartment of Management of Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Vladislava Sergeevna Ermolina – Student of group TTP-20-1, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: vladislava.ermolina@bk.ru