УДК 656.11
Научная статья
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-1-62-73

Check for updates

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНОГО СПРОСА ЦЕНТРОВ МАССОВОГО ТЯГОТЕНИЯ НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ В РАМКАХ ТЕОРИИ МАКРОСИСТЕМ

И.Е. Агуреев*, Г.Е. Пышная, В.А. Пышный
ФГБОУ ВО «ТулГУ»,
г. Тула, Россия
agureev-igor@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7903-139X,
maslennikova-galina94@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7858-1840,
vladislav.pyshnyi@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0380-8147
**ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. *Расчет корреспонденций был описан в начале XX в. в виде гравитационной модели и производится на основании аналогии с законом всемирного тяготения. Развитием данной модели можно назвать подход Дж. Вильсона, в котором расчет корреспонденций выполняется с помощью энтропийной модели. Энтропийный подход оперирует различными вариантами выражения для энтропии макроскопической системы. При этом ее равновесие достигается при максимальном значении выбранной функции энтропии. Целью данной работы является разработка методики определения вероятностного спроса центров массового тяготения «Торговые центры» и демонстрация результатов ее применения на примере торговых центров, расположенных на территории г. Тулы. Вероятностный спрос необходим для получения так называемых «априорных вероятностей» в выражении энтропии транспортной макросистемы.*
Методы и материалы. *Для разработки методики, а также ее дальнейшего использования наиболее удобной и перспективной научной платформой является теория транспортных макросистем, являющаяся частным случаем общей теории макросистем. Разрабатываемая в трудах главным образом отечественных учёных, она позволяет выполнять различные постановки задач, характерные для транспортных систем.*
Выводы. *Методика определения вероятностного спроса центров массового тяготения «Торговые центры», заключающаяся в получении априорных вероятностей нахождения в них и их ёмкостей для решения задач о поиске равновесных распределений посетителей, была разработана с целью дальнейшего развития макроскопического подхода при изучении «Торговых центров». Основным назначением методики является использование полученных результатов в решении задач о равновесных состояниях стоков транспорта и улично-дорожной сети в рамках теории транспортных макросистем.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *теория макросистем, транспортная система, центр массового тяготения, энтропийный подход*

БЛАГОДАРНОСТИ. *Коллектив авторов выражает благодарность анонимным рецензентам и благодарит редакцию журнала за обработку статьи и возможность её опубликования. Данная работа выполнена в рамках проекта РФФИ 19-48-710015 р_а.*

Статья поступила в редакцию 04.11.2021; одобрена после рецензирования 10.12.2021; принята к публикации 28.02.2022.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.
Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.
Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Агуреев И.Е. Методика определения вероятностного спроса центров массового тяготения на основе классификации в рамках теории макросистем / И.Е. Агуреев, Г.Е. Пышная, В.А. Пышный // *Вестник СибАДИ.* 2022. Т.19, № 1(83). С. 62-73. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-1-62-73

© Агуреев И.Е., Пышная Г.Е., Пышный В.А., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-1-62-73
Original article

METHODOLOGY TO DETERMINE THE PROBALISTIC DEMAND OF MASS ATTRACTION CENTERS BASED ON THE CLASSIFICATION WITHIN THE FRAMEWORK OF MACROSYSTEMS THEORY

Igor E. Agureev*, Galina E. Pyshnaya, Vladislav A. Pyshnyi
Tula State University, Tula, Russia
agureev-igor@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7903-139X,
maslennikova-galina94@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7858-1840,
vladislav.pyshnyi@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0380-8147
**corresponding author*

ABSTRACT

Introduction. *The calculation of correspondence was described at the beginning of the 20 century in the form of a gravitational model and is based on analogy with the law of universal gravitation. The development of this model can be called J. Wilson's approach, in which correspondence calculations are performed using an entropy model. The entropy approach operates with various expressions for the entropy of a macroscopic system. At the same time, its equilibrium is achieved at the maximum value of the selected entropy function. The purpose of this work is to develop a methodology for determining the probabilistic demand of mass attraction centers - Shopping centers and to demonstrate the results of its application on the example of shopping centers located on the territory of the city of Tula. Probabilistic demand is necessary to obtain the so-called 'a priori probabilities' in the expression of the entropy of the transport macrosystem.*

Methods and Materials. *For the development of the methodology, as well as its further use, the most convenient and promising scientific platform is the theory of transport macrosystems, which is a special case of the general theory of macrosystems. Developed in the works of mainly domestic scientists, it allows you to perform various tasks specific to transport systems.*

Conclusions. *The method of determining the probabilistic demand of the mass attraction centers -Shopping centers, which consists in obtaining a priori probabilities of being in them and their capacities for solving problems of finding equilibrium distributions of visitors, was developed with the aim of further developing the macroscopic approach in the study of Shopping centers. The main purpose of the technique is to use the results obtained in solving problems about the equilibrium states of the drains of transport and the road network in the framework of the theory of transport macrosystems.*

KEYWORDS: *theory of macrosystems, transport system, center of mass gravity, entropy approach.*

ACKNOWLEDGMENTS: *The team of authors expresses gratitude to the anonymous reviewers and thanks the editors of the journal for processing the article and the opportunity to publish it. This work was carried out within the framework of the RFBR project 19-48-710015 r_a.*

The article was submitted 04.11.2021; approved after reviewing 10.12.2021; accepted for publication 28.02.2022.
The authors have read and approved the final manuscript.
Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods.
There is no conflict of interest.

For citation: Agureev I.E., Pyshnaya G.E., Pyshnyi V.A. Methodology to determine the probalistic demand of mass attraction centers based on the classification within the framework of macrosystems theory. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2022; 19 (1): 62-73. https://doi.org/10.26518/2071-7296- 2022-19-1-62-73

© I.E. Agureev, Galina E. Pyshnaya, Vladislav A. Pyshnyi, 2022

Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Формирование представления о передвижениях населения на данный момент складывается из четырех типов поездок: передвижения от мест жительства к местам приложения труда и обратно (так называемые трудовые корреспонденции); передвижения от мест жительства к местам культурно-бытового обслуживания (магазинам и др.) и обратно; передвижения, совершаемые между местами приложений труда (деловые поездки); передвижения, совершаемые между объектами культурно-бытового обслуживания. Имеется достаточно большое количество методик расчёта трудовых корреспонденций, в классической интерпретации расчет корреспонденций был описан в начале XX в. в виде гравитационной модели и производится на основании закона тяготения [1]. Развитием данной модели можно назвать подход Дж. Вильсона[1], в котором расчет корреспонденций выполняется с помощью энтропийной модели. Среди отечественных ученых стоит выделить работы В. И. Швецова, в своих исследованиях он применяет гравитационную модель с использованием различных функций тяготения для передвижений с различными целями. В качестве меры «транспортной дальности» используется цена оптимального пути между районами [2, 13], на практике данный подход был применен для формирования модели Московской агломерации. Применением энтропийного подхода в своих исследованиях занимается А. В. Гасников [3], предлагая использовать гравитационную модель для распределения макросистемы по макросостояниям. И. Е. Агуреев [4] предлагает использование общей теории транспортных макросистем Ю. С. Попкова для создания динамических моделей транспортных систем, позволяющих находить оптимальные стационарные состояния (энтропийный подход) при расщеплении потоков, в рамках предлагаемого подхода были разработаны модели г. Тулы, Тульского региона[2], Душанбе, Хабаровска.

Трудовые корреспонденции составляют наибольшую часть от всех поездок в утренние часы пик, при этом в дневные часы их уровень минимален, а в вечерние часы доли корреспонденций равномерно распределяются между трудовыми и культурно-бытовыми. Подвижность населения с трудовыми целями (к местам приложения труда и обратно к местам проживания) определяется в соответствии с графиками работы предприятий и количеством рабочих мест с учетом допущений, что все работники не находятся в отпусках или на больничных, т. е. в каждое предприятие должно попасть количество людей, равное количеству рабочих мест. Для оценки наполняемости центров массового тяготения (ЦМТ) с культурно-бытовыми потребностями подобный подход невозможен, поскольку осуществление культурно-бытовых корреспонденций не является обязательным и носит вероятностный характер.

Каждый тип ЦМТ, привлекающих население с культурно-бытовыми целями, должен быть рассмотрен с помощью своего определенного подхода, например, для медицинских учреждений количество пациентов можно определить по количеству мест одновременного обслуживания, а для кинотеатров вместимость кинозала не может быть равнозначна количеству посетителей, являясь только параметром, ограничивающим максимальный объем потребления. Этот факт подтверждается в работах А. В. Зедгенизова [5], в своих исследованиях он подробно описывает особенности генерации корреспонденций частных случаев культурно-бытовых ЦМТ. Исходя из вышеописанного, можно выделить существующую проблему отсутствия методического описания подвижности населения с культурно-бытовыми целями для каждого типа ЦМТ.

Целью данной работы является представление методики определения вероятностного спроса ЦМТ «Торговые центры» и результатов ее применения, на примере торговых центров, расположенных на территории ГО МО г. Тулы.

В рамках работы поставлены следующие задачи:

1) анализ моделей расчета транспортных корреспонденций и формирование модели транспортной системы;

2) классификация ЦМТ;

3) формирование массива данных с параметрами ЦМТ «Торговые центры»;

---

[1] Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем [Текст]: пер. с англ. / А. Дж. Вильсон. М. : Наука, 1978. 247 с.

[2] Агуреев И. Е., Пышный В. А., Митюгин В. А. Транспортная модель для обоснования принимаемых решений с целью совершенствования организации движения грузового автомобильного транспорта // сборник научных статей 10-й Международной научно-практической конференции «СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ» (30 декабря 2020 года)/ редкол.: Горохов А. А. (отв. ред.); Юго-Зап. гос. ун-т; Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2020. С. 33–38.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

4) разработка рекомендаций по применению методики;

5) расчет вероятностного спроса для региональных ТЦ г. Тулы (пример).

Существуют различные типы классификаций ЦМТ: Ю. С. Попков[3] разделяет все объекты на 3 городские подсистемы: градообразующая база, обслуживание и транспорт; А. П. Ромм[4] с позиций градостроительства разделяет ЦМТ на городские базовые функции; в соответствии с СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений[5] можно использовать классификацию зданий и сооружений, рекреационных территорий, объектов отдыха. Для последующего исследования примем интегрированную классификацию, в которой назначим для каждой городской базовой функции свою подсистему (градообразующую или обслуживание).

ЦМТ, посещаемые с культурно-бытовыми целями, относятся к подсистеме «обслуживание» и включают в себя городские базовые функции класса «Торговля, общепит, сфера услуг» и «Образование, здравоохранение, спорт, культура, досуг». Как говорилось ранее, каждый тип ЦМТ следует исследовать отдельно. Рассмотрим ЦМТ типа торговые центры (ТЦ) как одни из наиболее массово посещаемых объектов. Под ТЦ подразумеваются сооружения, в которых находятся торговые площади, реализующие товары различной направленности, т. е. не учитываются отдельные продовольственные магазины, например, как ТЦ не учитываются сетевые магазины, напротив, здание, в котором находятся одновременно сетевой продовольственный магазин, аптечный пункт и магазин мебели, определяется как ТЦ.

Определение количества посетителей, находящихся одновременно в ТЦ, вызывает затруднение, поскольку на торговых площадях может находиться значительное количество населения. Определение емкости ТЦ по количеству парковочных мест может значительно исказить информацию о количестве посетителей, поскольку до ТЦ население может добираться различными способами. Также необходимо классифицировать ТЦ, поскольку различные по своей величине и месту расположения они могут иметь разный уровень привлекательности для населения и таким образом влиять на величину транспортных и пешеходных потоков. Например, ТЦ, находящийся в жилом микрорайоне, в большинстве случаев пользуется спросом только у населения, живущего в пешей доступности, а ТЦ, находящийся рядом с магистральной улицей и сетью маршрутов пассажирского транспорта, имеющий большие торговые площади и широкий спектр услуг, пользуется значительно большим спросом и привлекает население из различных городских районов.

Отсутствие точных данных о потребностях в посещении ЦМТ ТЦ населением, с учетом того что каждый тип ТЦ имеет свой характер спроса как по объему посещений, так и по радиусу охвата и интенсивности посещений по дням и часам, приводит к образованию дополнительных погрешностей при формировании матрицы корреспонденции, что негативно сказывается на определении параметров функционирования транспортной системы и её элементов. Решение данной проблемы позволит целенаправленно формировать комплексы управляющих воздействий, например, уточнение качественной матрицы корреспонденций [6] предоставит возможность определить наиболее эффективные места установки технических средств косвенного управления транспортными и пассажирскими потоками. Это существенно повлияет на эффективность функционирования интеллектуальной транспортной системы города, позволит увеличить информативность и повысить комфортабельность перевозок.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для разработки методики, а также ее дальнейшего использования наиболее удобной и перспективной научной платформой является теория транспортных макросистем, являющаяся частным случаем общей теории макросистем. Разрабатываемая в трудах главным образом отечественных учёных, она позволяет

[3] Развитие больших городов в условиях переходной экономики (системный подход) / В. И. Ресин, Ю. С. Попков. М. : Эдиториал УРСС, 2000. 326 с.

[4] . Ромм А. П. Комплексная оценка и функциональное зонирование территории в градостроительном проектировании: дис. ... д-ра архитектуры: 18.00.04. Москва, 2002. 206 с.

[5] СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89 / Минстрой России, Москва, 2016. 94 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

выполнять различные постановки задач, характерные для транспортных систем.

Для того чтобы более корректно получать и обосновывать разрабатываемую методику, воспользуемся представлением модели транспортной системы в виде[6].

В наиболее общем случае транспортная система может быть выражена в виде совокупности уравнений, в соответствии с работой [2]:

$$\begin{cases} \tilde{\Gamma} = \tilde{\Gamma}(t); \\ \boldsymbol{\rho} = \boldsymbol{\rho}(t); \\ \boldsymbol{q} = \boldsymbol{q}(t); \\ \tau_0 \le t \le \tau_0 + \Delta\tau;\ \ \Delta\tau = \sum_{k=1}^{v_f = N_a} \Delta\tau_k\,; \\ \boldsymbol{V}(t) = \{V_1, \dots, V_\alpha, \dots, V_p : V_\alpha = \sum_{v=1}^{l} n_v(t) | v \in p_\alpha\}\,; \\ v = 1, \dots, v_f(t); \\ \pi_v = \pi_v(t); \\ \boldsymbol{\Pi}(t) = \{\pi_1(t), \dots, \pi_\beta(t), \dots, \pi_{v_f}(t)\}; \\ \boldsymbol{G}(t) = \boldsymbol{g}_v \otimes \boldsymbol{\Pi}(t) \le \boldsymbol{G}^*; \\ H\left(\boldsymbol{V}^*(\Delta\tau_k)\right) \to max, \end{cases} \quad (1)$$

где $\tilde{\Gamma}$ – граф УДС; ρ – транспортные связи; q – действующие провозные (пропускные) способности; t – непрерывное время; $v_f = N_a$ – наибольший индекс автомобиля, соответствующий количеству транспортных средств на сети в данный момент времени; V_α – общее число маршрутов (корреспонденций); v – индекс автомобиля (его постоянный идентификатор); n_v – булева переменная, которая определяется соотношением (2); p_α – α-й маршрут; π_v – уравнение транспортного процесса для -ого автомобиля; $\Pi(t)$ – основное уравнение транспортного процесса, характеризующее долю выполненной транспортной работы; β – индекс транспортного процесса; G_p – функция затрат ресурсов (расход ресурсов); g_v – удельный расход ресурса для каждого автомобиля транспортного процесса; H – информационная энтропия транспортной системы; G^* – ограничения на расход ресурсов. Звездочкой обозначено равновесное состояние.

$$n_v(t) = f(x) = \begin{cases} 1, & v \in p_\alpha \\ 0, & v \notin p_\alpha \end{cases}. \quad (2)$$

Предполагается, что в результате решения задачи каждый маршрут становится однозначно определенным, и тогда уравнения $\pi_\beta(t)$ тоже становятся определены.

Представленная система содержит равновесное решение $\boldsymbol{V}^*(\Delta\tau_k)$, которое достигается в ТС к концу отрезка времени $\Delta\tau_k$ за счет наиболее вероятного распределения транспортных средств по маршрутам (корреспонденциям), обеспечивающего выполнение ограничения по расходу ресурсов $\boldsymbol{G}(t)$ и максимизацию информационной энтропии $H\left(\boldsymbol{V}^*(\Delta\tau_k)\right)$ на том же отрезке времени. Используется гипотеза о достижимости равновесия на интервале $\Delta\tau_k$.

Выражение для информационной энтропии зависит от способов заполнения состояний системы. Эти способы изложены в монографии[7] и представляют собой статистики распределения элементов по подмножествам состояний, которые широко применяются в теории элементарных частиц. Например, для Больцман-статистики данное выражение имеет вид:

$$H_B(N) = H_\sigma^B + k\sum_{j=1}^{m}\left[a_j G_j + N_j \ln a_j\, G_j - \ln N_j\,!\right],$$

где a_j – априорные вероятности нахождения элементов в состоянии j; G_j – ёмкости соответствующих состояний; N_j – количество элементов в состоянии j; m – количество подмножеств состояний.

В рассматриваемой системе уравнений отсутствуют в явном виде описания центров массового тяготения, которые в методике предполагается классифицировать по критерию величины торговых площадей. Предполагается, что такой приоритет позволяет выделять ТЦ различного типа: несмотря на то, что величина торговой площади может изменяться практически как непрерывная величина, существуют объективные границы, которые позволяют относить ТЦ к тому или иному типу. Обоснование такого предположения не выполняется в рамках данной работы, но мы считаем его достаточно оправданным. Если подобная классификация будет учтена в уравнениях (1), то потребуется в явном виде указать расщепление поездок по стратификации ТЦ, выполняемой в соответствии с указанным в классификации признаком.

Тогда указанное расщепление мы должны прежде всего отразить в множествах, к каждой отдельной задаче

[6] Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем [Текст]: пер. с англ. / А. Дж. Вильсон. М. : Наука, 1978. 247 с.

[7] Развитие больших городов в условиях переходной экономики (системный подход) / В. И. Ресин, Ю. С. Попков. М. : Эдиториал УРСС, 2000. 326 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

$$V^1(t) = \left\{V_1^1;\ V_2^1; \dots; V_\alpha^1; \dots, V_p^1 :\ V_\alpha^1 = \sum_{v=1}^{l} n_v(t) | v \in p_\alpha\right\};$$
$$\dots \qquad (3)$$
$$\dots$$
$$V^\mu(t) = \left\{V_1^\mu;\ V_2^\mu; \dots; V_\alpha^\mu; \dots, V_p^\mu :\ V_\alpha^\mu = \sum_{v=1}^{l} n_v(t) | v \in p_\alpha\right\},$$

где μ – индекс страты.

Это означает, что мы рассматриваем отдельные множества «заполнения» состояний для тех автомобилей, которые направляются в ТЦ различного типа, и имеем собственный набор корреспонденций в каждой из формул (3). В результате суммы

$$\sum_{i=1}^{N_\mu} V_i^\mu(t) = V_1^\mu + V_2^\mu + \dots + V_{v_\mu}^\mu = S_\mu \qquad (4)$$

представляют собой общее число автомобилей, направляющихся к ТЦ типа μ, а по существу отличающиеся по цели поездок величины.

Очевидно, что для каждого расщеплённого множества потребуется решение собственной равновесной задачи. Поэтому необходимо дописать ограничения

$$\begin{aligned} G^1(t) &= g_v^1 \otimes \Pi^1(t) \le G^{*1}; \\ G^\mu(t) &= g_v^\mu \otimes \Pi^\mu(t) \le G^{*\mu}; \end{aligned} \qquad (5)$$

и условия равновесия

$$\begin{aligned} H^1\left(V^{*1}(\Delta\tau_k)\right) &\to \max; \\ H^\mu\left(V^{*\mu}(\Delta\tau_k)\right) &\to \max. \end{aligned} \qquad (6)$$

В данном случае необходим ответ на вопрос: следует ли всегда решать уравнения (3)–(6) совместно или они допускают отдельные постановки задач?

Кажется логичным, что в наборе S_1, S_2, …, S_μ между отдельными компонентами должна существовать связь, так как предполагается, что использование ТЦ людьми происходит не по равномерному закону, а существует определённое распределение по стратам. Тогда необходимо решать задачу (3)–(6) в общей постановке. Для этого потребуется знание нескольких условий:

1) априорные вероятности нахождения потребителей в ТЦ каждой страты;

2) средние ёмкости таких ТЦ;

3) закономерности ограничений, выраженные множеством

$$\{G^{*1};\ G^{*2}; \dots;\ G^{*\mu}; \dots\},$$

которое зависит от различных социально-экономических условий использования ТЦ в данной местности.

Таким образом, при разработке методики должны быть учтены такие данные, как:

1) ёмкость ТЦ (торговая площадь);

2) интенсивность потоков и ТЦ каждой страты, определяющая априорные вероятности.

Ниже, в расчетном примере, мы покажем, каким образом могут быть найдены априорные вероятности в предыдущей формуле, а также заданы емкости подмножеств состояний. При этом нами будет рассмотрен случай распределения посетителей ТЦ некоторого типа. Эти посетители уже закончили транспортный процесс (π = 1) и находятся на торговой площади. Следует отметить, что смысл задачи о поиске равновесного распределения транспортных средств по корреспонденциям должен быть согласован с поиском равновесного распределения индивидов по ЦМТ. Возникает вопрос: можно ли две такие задачи считать согласованными в том смысле, что каждой корреспонденции $\omega(i,j)$ становится в соответствие сток транспорта с номером j и его ёмкостью Q_j?

Ответ на этот вопрос может быть сформулирован таким образом: согласование обеих задач обеспечивается за счет их решения в предлагаемой последовательности:

1) расчет распределения посетителей по торговым центрам и определение объемов прибытий;

2) расчет загрузки УДС индивидами, выполняющими поездки в ТЦ *t*-го типа по полученным в 1-й задаче объемам прибытий.

Отметим, что постановки этих задач могут быть выполнены на основе модели типа (1) и в данной системе не рассматриваются.

Рассмотрим разработку методики определения вероятностного спроса ЦМТ «Торговые центры» на примере ТЦ г. Тулы и проведем с ее помощью вероятностный расчёт количества посетителей для определенного временного периода, т. е. сформируем объемы спроса для рассматриваемых ЦМТ.

При разработке методики были сделаны следующие допущения:

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

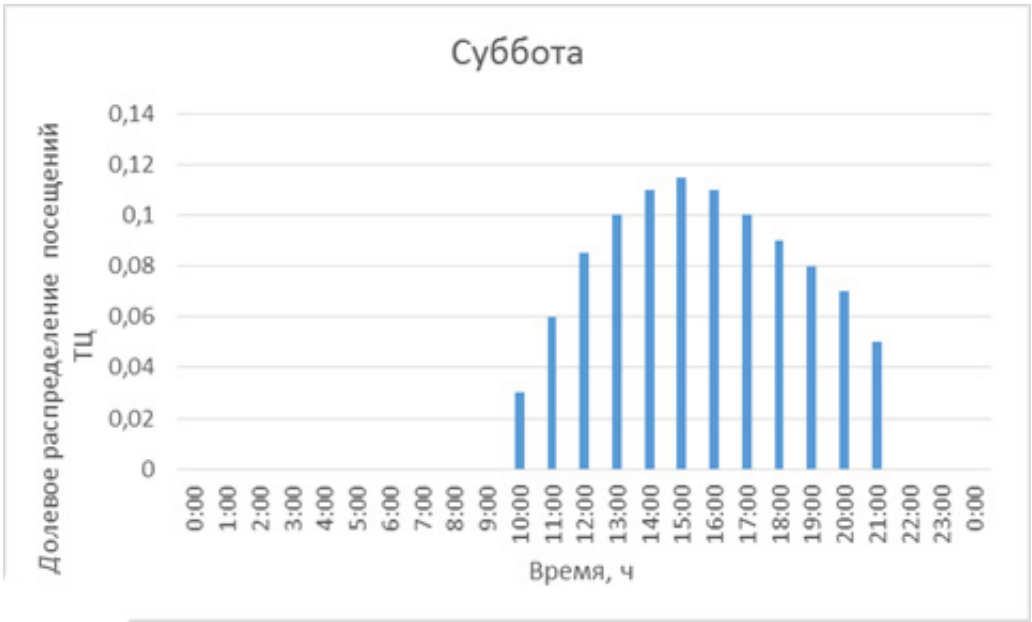

Рисунок 1 – Посещаемость ТЦ «Макси» (статистика сервисов Яндекс)

Figure 1 – Attendance of the Maxi shopping center statistics of Yandex services

• расчет производился для одного определенного часа, в который существует максимальная потребность у населения в посещении ТЦ с различными целями. По данным сервисов Яндекс, это выходной или праздничный день с 15:00 до 16:00 (рисунок 1);

• ТЦ посещают все категории населения;

• при расчетах не учитывались:

1) время работы ТЦ;

2) интенсивность фактических транспортных потоков;

3) неравномерность транспортной сети;

4) различие в притягательности ТЦ;

5) сезонность;

6) внешние финансовые и социальные воздействия, которые могут снизить покупательскую активность населения;

7) расщепление по типам транспортных средств, используемых для перемещения к ТЦ.

Порядок применения методики заключается в следующем:

1. Первым шагом осуществлялся сбор информации о всех возможных ТЦ (наименование, координаты мест расположения), имеющихся на территории ГО МО г. Тулы с помощью поисковых запросов в сети Интернет (Яндекс и Google). Дополнительно совершались запросы в ГИС-сервисах.

2. Систематизация полученных данных. Проведенный анализ позволил сделать выводы, что в России не существует утвержденной классификации ТЦ, поэтому для классификации ТЦ использовалась европейская классификация, описанная О. В. Мезенцевой[8]. В качестве основного критерия классификации использовалась величина торговых площадей. Таким образом, ТЦ были разделены на 4 типа: микрорайонный, районный, окружной, региональный. Так как в методике на данный момент предполагается получение данных ЦМТ для общего случая данной классификации достаточно, но при решении более узкой задачи, например, прогнозирования транспортного спроса для оптимизации маршрутной транспортной сети городского пассажирского транспорта общего пользования, допустимо расширить классификацию и включить в нее в качестве признаков наличие рядом остановочного пункта и его типа. Возможные для включения в анализ характеристики, влияющие на привлекательность ТЦ, описаны в работе Мирошниченко [7].

Подробное описание типов представлено в таблице.

[8] Мезенцева О. В. Оценка коммерческой недвижимости: учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2016. 115 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица
Классификация ТЦ

Table
Shopping center classification

	Расположение	Аудитория	Торговая площадь	Якорный арендатор	Описание
Микрорайонный торговый центр	В удалении от центральных улиц и стратегических магистралей	До 3000 чел.	Менее 3000 кв. м	Может отсутствовать	Торговля товарами первой необходимости, услуги повседневного спроса
Районный торговый центр	В удалении от центральных улиц и стратегических магистралей, в радиусе 5–10 мин езды на личном или общественном транспорте	3000–40000 чел.	3000–10000 кв. м	Продуктовый супермаркет, аптека	Торговля продуктами питания, товарами первой необходимости, услуги повседневного спроса
Окружной торговый центр	Вблизи центральных улиц и стратегических магистралей, 10–20 мин транспортной доступности	40–150 тыс. чел.	9000–20000 кв. м	Продуктовый супермаркет, аптека, товары для детей, промтовары	Промтовары, одежда, мебель, товары для дома, места отдыха и развлечения, предприятия бытового обслуживания
Региональный торговый центр	Вблизи стратегических магистралей, 30–40 мин транспортной доступности	Свыше 150 000 чел.	30000–45000 кв. м	Несколько крупных универмагов с полным ассортиментом товаров	Промтовары, одежда, мебель, товары для дома, места отдыха и развлечения, предприятия бытового обслуживания

3. Вычисление торговых площадей. Подобная информация практически отсутствует в свободном доступе. Для уточнения данных использовался технологичный сервис для поиска недвижимости по всей России – ЦИАН, значения 70% площадей удалось найти с его помощью. Отсутствующие значения площадей вычислялись по формуле нахождения площади исходя из длины и ширины зданий на цифровой карте при максимальном приближении при помощи инструмента – масштабная линейка.

4. Нанесение меток ТЦ на интерактивную карту. В соответствии с таблицей назначены аналогичные цвета для меток, обозначив принадлежность торговых центров к той или иной группе:

- микрорайонный торговый центр – синие метки;
- районный торговый центр – зелёные метки;
- окружной торговый центр – оранжевые метки;
- региональный торговый центр – красные метки.

Так как объём информации достаточно большой, было принято решение оптимизировать процесс внесения меток на карту импортом в формате GeoJSON. Данный формат был выбран в связи с тем, что при импорте на карту добавляются метки (включающие в себя координаты, описание, подпись, номер, цвет), также есть возможность добавить линии и многоугольники. Но группы меток при данном методе не сохраняются. Тем не менее все интересующие нас параметры: цветовое различие, координаты и описание для каждой метки – в этом формате присутствуют. В описание было помещено название торгового центра, его адрес, тип и торговая площадь.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

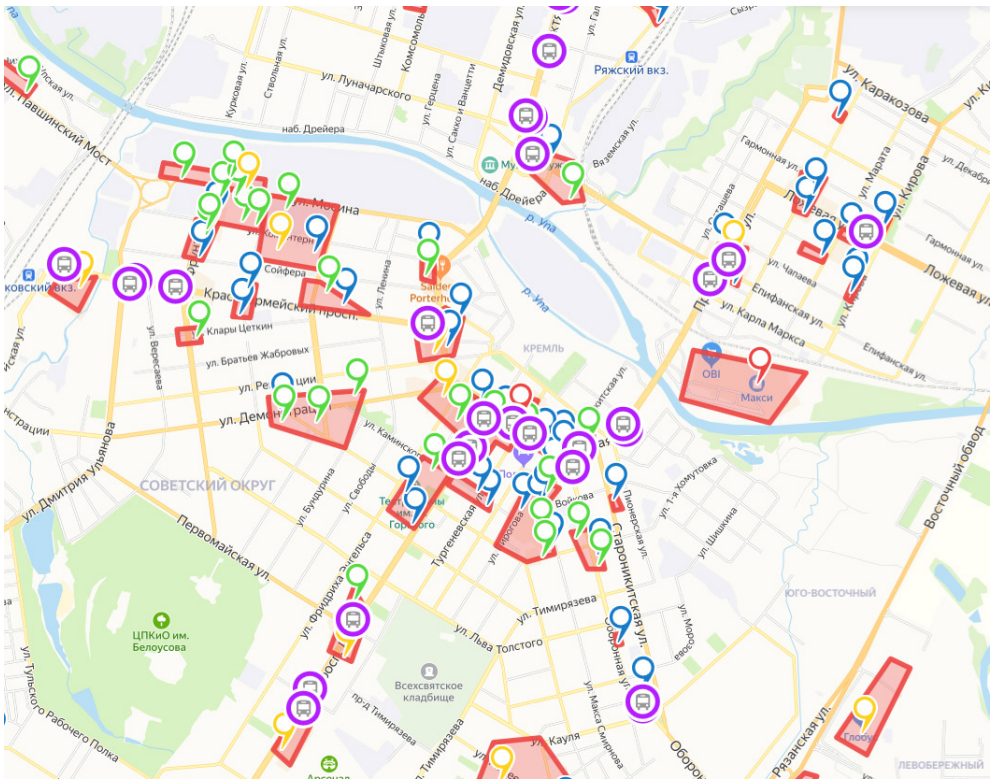

Рисунок 2 – Участок карты г. Тулы с метками ТЦ и остановочных пунктов

Figure 2 – Section of the map of Tula with marks of shopping centers and stopping points

После расчёта площади всех найденных центров получилось, что всего найдено – 148 торговых центров, из них 85 микрорайонных торговых центров, 44 районных торговых центров, 15 окружных торговых центров и 2 региональных торговых центра (рисунок 2).

На карту для последующей оценки взаимосвязи объемов пассажирообмена с местами расположения ЦМТ также нанесены метки с остановочными пунктами (см. рисунок 2), пассажирообмен которых в выходные дни составляет более 900 чел. Подобных остановочных пунктов в городе имеется 40, что составляет примерно 6% от общего числа. Данные взяты из обследования пассажирообмена остановочных пунктов г. Тулы, проведённого в 2019 г. Данные метки наносились вручную в связи с тем, что нет возможности задать иконку для метки импортом для визуального отличия.

5. Кластеризация. После нанесения всех торговых центров на карту были выделены кластеры ТЦ. Принципом выделения являлась пешая доступность менее 5 мин для больших скоплений, а также привязка к одному и тому же остановочному пункту. Выделение кластеров позволит при формировании условных транспортных районов уточнять их границы и формировать объемы транспортного спроса.

6. Расчёт вероятностного спроса (расчет априорных вероятностей и определение емкостей ЦМТ).

Расчет преследует целью продемонстрировать некоторые особенности макромоделирования и показать, каким образом могут быть получены и использованы данные о пребывании посетителей в ТЦ какого-либо уровня. Под вероятностным спросом мы будем понимать характеристику, которая дает возможность рассчитать вероятность нахождения отдельного индивида в данном ТЦ в данном интервале времени суток. Основой для такого расчета являются следующие исходные данные:

1) статистическая доля тех характерных дней, которые использовались индивидом *k*-ой категории для посещения ТЦ *t*-го типа, в общем объеме дней одного месяца (или года, в зависимости от условий задачи); обозначим эту величину P_{kt}, которая может быть определена на основе социологического опроса в виде таблицы $K \times T$, где K – число категорий жителей; $T = 4$ – число типов ТЦ на основе таблицы; категория индивидов представляет собой, как вариант, тип передвижения при посещении ТЦ, тогда K=3 (пешее; индивидуальный транспорт; пассажирский транспорт);

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

2) вероятность выбора отдельным индивидом *k*-й категории конкретного типа ТЦ из множества ТЦ *t*-го типа, которую обозначим p_{kt}; для её определения на первом этапе расчета можно принять закон равномерного распределения вероятностей; в более общем случае потребуется вычисление на основе заданной функции плотности вероятностей или гистограммы, которые могут быть определены на основе обследований;

3) вероятность того, что индивид *k*-й категории выбрал для начала посещения ТЦ *t*-того типа *i*-й час времени характерных суток (дня); данная величина может быть определена с помощью диаграмм, представленных на рис. 1 и обозначена как $p_{kti}^{(ch)}$;

4) величина времени, проведенного в ТЦ *t*-го типа индивидом *k*-ой категории, отнесенная к продолжительности работы данного ТЦ; на первом этапе ее можно считать независимой от времени начала посещения ТЦ; в более общем случае можно применить теорему Байеса, устанавливающую условную вероятность продолжительности посещения в зависимости от вероятности начала посещения в *i*-й час; данную величину обозначим как δ_{ikt} или $\delta_{ikt}(t_i)$.

Тогда вероятность того, что индивид *k*-й категории может находиться в *t*-м ТЦ в час времени t_i, рассчитывается по формуле:

$$p_{kti} = P_{kt} * p_{kt} * p_{kti}^{(ch)} * \delta_{ikt}(t_i).$$

Выполним примерный расчет в соответствии с вышеописанной методикой для региональных торговых центров Тулы.

В соответствии с соцопросом, проведенным в Казани [8], каждый житель посещает ТЦ в среднем 1,6 раза; в месяце в среднем 30,5 дней, отсюда

$$P_{kt} = \frac{1,6}{30,5} \approx 0,0525.$$

Рассчитаем вероятность выбора одного из двух региональных ТЦ Тулы. Возможно также учесть величину торговых площадей региональных ТЦ, на примере Тулы: ТЦ «Макси» 107530 м^2, а ТЦ «Гостиный двор» 51000 м^2. В этом случае вероятность выбора наиболее крупного ТЦ равна:

$$p_{kt} = \frac{107530}{107530+51000} = 0,678.$$

В соответствии с рис.1 было выбран временной период с 15 до 16 часов, для которого $p_{kti}^{(ch)}$ =0,115.

В среднем по информации Business Online каждый житель проводит 3 часа в торговом центре, откуда получается

$$\delta_{ikt} = \frac{3}{24} = 0,125.$$

Таким образом:

$$p_{kti} = P_{kt} * p_{kt} * p_{kti}^{(ch)} * \delta_{ikt}(t_i) \approx 0,000512.$$

Если количество жителей города Тулы принять равным 482 873 человек, то соответственно в каждом из региональных ТЦ в часы наибольшего спроса посещения в данных ЦМТ присутствует примерно по 247 человек всех категорий. Последнюю величину следует нормировать в соответствие с долей *k*-ой категории в общей величине посетителей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

К результатам настоящей статьи следует отнести работу, выполненную при составлении классификации ТЦ и состоящую в анализе большого числа существующих ЦМТ данного типа. Следует отметить, что интерес представляет также соотнесение мест расположения ТЦ и остановочных пунктов, для которых известны величины пассажирообмена на основе проводившихся ранее обследований. Такой анализ может проводиться с целью определения влияния находящихся вблизи остановочных пунктов ТЦ. Разработанная методика определения вероятностного спроса состоит из 6 последовательно выполняемых пунктов, среди которых основными являются этапы кластеризации ТЦ и расчет величины вероятностного спроса на услуги ТЦ различного уровня.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье с целью дальнейшего использования макроскопического подхода при изучении ЦМТ «Торговые центры» была разработана методика определения вероятностного спроса ЦМТ «Торговые центры», заключающаяся в получении априорных вероятностей нахождения в ЦМТ и их ёмкостей для решения задач о поиске равновесных распределений посетителей в таких ЦМТ.

При этом основным назначением методики является использование полученных результатов в решении задач о равновесных состояниях стоков транспорта и УДС в рамках теории транспортных макросистем.

Дальнейшие направления исследований должны быть направлены на решение таких задач, как:

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

1) проведение социологических опросов;

2) обследование ЦМТ;

3) постановка и численное решение задач о равновесных состояниях стоков транспорта (ЦМТ) и УДС в квазидинамической постановке;

4) постановка и решение задач 4-шаговой модели с позиций транспортных макросистем на этапе Trip generation.

С практической точки зрения методика позволит более точно рассчитывать вектора генерации и поглощения транспортных и пешеходных потоков ЦМТ, матрицы корреспонденций, расщепление перемещений по потребностям, осуществлять построение транспортных моделей спроса, а также рассчитывать параметры функционирования городских транспортных систем, что способствует формированию целостного представления о подвижности населения городов.

Конкретизируя, можно выделить отдельные задачи, при решении которых возможно использование предложенной методики:

- определение фактических параметров функционирования транспортной системы;
- оптимизация маршрутной транспортной системы городского пассажирского транспорта общего пользования;
- разработка предложений по переносу или созданию новых остановочных пунктов;
- определение эффективности застройки новыми объектами городских территорий;
- определение эффективности строительства или реконструкции участков улично-дорожной сети, подбор наиболее рационального варианта;
- формирование грузового каркаса региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Carrothers G. A. P. An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction // J. American Instit. Planners. 1956. 22: 94-102.

2. Моделирование транспортных потоков в крупном городе с применением к московской агломерации / А. С. Алиев, А. И. Стрельников, В. И. Швецов, Ю. З. Шершевский // Автоматика и телемеханика. 2005. № 11. С. 113–125.

3. Гасников А. В., Гасникова Е. В. О возможной динамике в модели расчёта матрицы корреспонденций (А. Дж. Вильсона) // ТРУДЫ МФТИ. 2010. Т. 2, № 4. С. 45 –54.

4. Агуреев И. Е. Нелинейные модели транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. Орел: ГТУ. 2009. № 2. С. 3–16.

5. Бурков Д. Г., Зедгенизов А. В. Математическое описание транспортного спроса к объектам культурно-бытовой направленности // Вестник ИрГТУ. 2016. Т. 20, № 12. С. 201–209.

6. Жанказиев С. В. Методологические принципы построения телематической системы косвенного управления транспортными потоками // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2010. № 3. С. 48 –54.

7. Мирошниченко Д. И. Анализ критериев конкурентоспособности торговых центров // Научный вестник Волгоградского филиала РАНХиГС. Серия: Экономика. 2015. № 3. С. 76–81.

8. Маркетинговое исследование по оценке торговых центров г. Казани https://studbooks.net/779159/marketing/marketingovoe_issledovanie_po_otsenke_torgovyh_tsentrov_g_kazani.

9. Структура комплексной модели транспортной системы г. Москвы / А.С. Алиев, Д.С. Мазурин, Д. А. Максимова, В.И. Швецов // Труды ИСА РАН. 2015. Т.65, № 1. С. 3–15.

10. Швецов В. И. Проблемы моделирования передвижений в транспортных сетях // ТРУДЫ МФТИ. 2010. Том 2, №4. С. 169–179.

11. Piovani D, Arcaute E, Uchoa G, Wilson A, Batty M. 2018 Measuring accessibility using gravity and radiation models. R. Soc. open sci. 5: 171668. http://dx.doi.org/10.1098/rsos.171668.

12. Indriany S., Sjafruddin A., Kusumawati A., et al. Mode choice model for working trip under risk and uncertainty. AIP Conference Proceedings 1977, 020041 (2018); https://doi.org/10.1063/1.5042897 Published Online: 26 June 2018.

13. Wan L., Jin Y. Assessment of model validation outcomes of a new recursive spatial equilibrium model for the Greater Beijin/ September 2017. Environment and Planning B Urban Analytics and City Science 46(2): 239980831773257. DOI:10.1177/2399808317732575.

14. Chmielewski J., Kempa J. Hexagonal Zones in Transport Demand Models. In International Congress on Engineering. Engineering for Evolution, KnE Engineering, pages 103–116. DOI 10.18502/keg.v5i6.7025.

15. Fox J., Patruni B. South East Wales Transport Model. Demand Model Implementation. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2018. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1927z3.html.

16. Miller E. J. Accessibility: measurement and application in transportation planning, Transport Reviews, 38:5, 551-555, DOI: 10.1080/01441647.2018.1492778.

17. Klinkhardt C., Woerle T., Briem L., et al. Using OpenStreetMap as a Data Source for Attractiveness in Travel Demand Models. Transportation Research Record 2021, 2675(8) 294–303.

18. Suprayitno H. Developing a direct gravity trip distribution model for air passenger demand. 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 419 012092.

19. Naser I. H., Mahdi M. B., Meqtoof F. H., et al. Modelling Trip Distribution Using the Gravity Model and Fratar's Method. Mathematical Modelling of Engineering Problems 2021, 8(2): 230-236. DOI: https://doi.org/10.18280/mmep.080209.

20. Waldrip S. H., Niven R. K., Abel M. et al. Maximum Entropy Analysis of Transport Networks. BAYESIAN INFERENCE AND MAXIMUM ENTROPY METHODS IN SCIENCE AND ENGINEERING: Proceedings of the 36th International Workshop on Bayesian Inference and Maximum Entropy Methods in Science and Engineering (MaxEnt 2016). DOI:10.1063/1.4985364.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

REFERENCES

1. Carrothers G. A. P. An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction // J. *American Instit. Planners*. 1956. 22: 94-102.

2. Modelirovanie transportnyh potokov v krupnom gorode s primeneniem k moskovskoj aglomeracii / A. S. Aliev, A. I. Strel'nikov, V. I. Shvecov, Ju. Z. Shershevskij // *Avtomatika i telemehanika*. 2005. 11: 113–125. (In Russian)

3. Gasnikov A. V., Gasnikova E. V. O vozmozhnoj dinamike v modeli raschjota matricy korrespondencij (A. Dzh. Vil'sona) // *TRUDY MFTI.* 2010. 2(4): 45 –54. (In Russian)

4. Agureev I. E. Nelinejnye modeli transportnyh sistem // *Mir transporta i tehnologicheskih mashin*. Orel: GTU. 2009. 2: 3–16. (In Russian)

5. Burkov D. G., Zedgenizov A. V. Matematicheskoe opisanie transportnogo sprosa k ob#ektam kul'turno-bytovoj napravlennosti // *Vestnik IrGTU.* 2016. 20(12): 201–209. (In Russian)

6. Zhankaziev S. V. Metodologicheskie principy postroenija telematicheskoj sistemy kosvennogo upravlenija transportnymi potokami // *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no- dorozhnogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta (MADI)*. 2010. 3: 48 –54. (In Russian)

7. Miroshnichenko D.I. Analiz kriteriev konkurentosposobnosti torgovyh centrov // *Nauchnyj vestnik Volgogradskogo filiala RANHiGS. Serija: Jekonomika*. 2015. 3: 76–81. (In Russian)

8. Marketingovoe issledovanie po ocenke torgovyh centrov g. Kazani https://studbooks.net/779159/marketing/marketingovoe_issledovanie_po_otsenke_torgovyh_tsentrov_g_kazani.

9. Struktura kompleksnoj modeli transportnoj sistemy g. Moskvy / A.S. Aliev, D.S. Mazurin, D. A. Maksimova, V.I. Shvecov // *Trudy ISA RAN*. 2015. 65(1): 3–15. (In Russian)

10. Shvecov V. I. Problemy modelirovanija peredvizhenij v transportnyh setjah // *TRUDY MFTI*. 2010. 2(4): 169–179. (In Russian)

11. Piovani D, Arcaute E, Uchoa G, Wilson A, Batty M. 2018 Measuring accessibility using gravity and radiation models. R. Soc. open sci. 5: 171668. http://dx.doi.org/10.1098/rsos.171668.

12. Indriany S., Sjafruddin A., Kusumawati A., et al. Mode choice model for working trip under risk and uncertainty. AIP Conference Proceedings 1977, 020041 (2018); https://doi.org/10.1063/1.5042897 Published Online: 26 June 2018.

13. Wan L., Jin Y. Assessment of model validation outcomes of a new recursive spatial equilibrium model for the Greater Beijin/ September 2017. Environment and Planning B Urban Analytics and City Science 46(2): 239980831773257. DOI:10.1177/2399808317732575.

14. Chmielewski J., Kempa J. Hexagonal Zones in Transport Demand Models. In International Congress on Engineering. Engineering for Evolution, KnE Engineering, pages 103–116. DOI 10.18502/keg.v5i6.7025.

15. Fox J., Patruni B. South East Wales Transport Model. Demand Model Implementation. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2018. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1927z3.html.

16. Miller E. J. Accessibility: measurement and application in transportation planning, Transport Reviews, 38:5, 551-555, DOI: 10.1080/01441647.2018.1492778.

17. Klinkhardt C., Woerle T., Briem L., et al. Using OpenStreetMap as a Data Source for Attractiveness in Travel Demand Models. Transportation Research Record 2021, Vol. 2675(8) 294–303.

18. Suprayitno H. Developing a direct gravity trip distribution model for air passenger demand. 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 419 012092.

19. Naser I. H., Mahdi M. B., Meqtoof F. H., et al. Modelling Trip Distribution Using the Gravity Model and Fratar's Method. Mathematical Modelling of Engineering Problems 2021, 8(2): 230-236. DOI: https://doi.org/10.18280/mmep.080209.

20. Waldrip S. H., Niven R. K., Abel M. et al. Maximum Entropy Analysis of Transport Networks. BAYESIAN INFERENCE AND MAXIMUM ENTROPY METHODS IN SCIENCE AND ENGINEERING: Proceedings of the 36th International Workshop on Bayesian Inference and Maximum Entropy Methods in Science and Engineering (MaxEnt 2016). DOI:10.1063/1.4985364.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Агуреев И. Е. Формулировка задач исследования, теоретические положения, модель транспортной системы.

Пышная Г. Е. Методика определения вероятностного спроса ЦМТ «Торговые центры», оформление, поиск и подбор источников литературы.

Пышный В. А. Обзор классификаций ЦМТ, анализ исследований отечественных и зарубежных авторов.

COAUTHORS` CONTRIBUTION

Igor E. Agureev. Formulation of research objectives, scientific provisions.

Galina E. Pyshnaya. Design, search and selection of literature sources, a method for determining the probabilistic demand of centers of mass gravitation "Shopping centers".

Vladislav A. Pyshnyi. A review of the classifications of the centers of mass gravitation, analysis of the studies of domestic and foreign authors.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Агуреев Игорь Евгеньевич – д-р техн. наук, доц.

Пышная Галина Евгеньевна – магистрант.

Пышный Владислав Александрович – канд. техн. наук, доц.

AUTHORS AFFILIATION

Igor E. Agureev – Dr of Sci., Associate Professor.

Galina E. Pyshnaya – Undergraduate.

Vladislav A. Pyshnyi – Cand. of Sci., Associate Professor.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal