

Научная статья

УДК 519.6: 656.13: 537.8

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-746-758>

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОВЕДЕНИЯ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДА (МЕГАПОЛИСА)

**И.Е. Агуреев, А.В. Ахромешин**

Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

[agureev-igor@yandex.ru](mailto:agureev-igor@yandex.ru)[aakhromeshin@yandex.ru](mailto:aakhromeshin@yandex.ru)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В статье представлен анализ научных работ по транспортному поведению, транспортной мобильности населения и паттернам поведения пассажиров (индивидов). Построение математических моделей транспортного поведения на основе теории макросистем имеет научную новизну и перспективы для изучения и внедрения на практике. Актуальной задачей на этом пути является изучение природы коллективного поведения, возникающего в результате взаимодействия множества мотивов при принятии решения о поездке. При этом в потоках пассажиров и транспортных средств предполагается наличие пространственно-временных структур, которые отражают транспортное поведение на макроуровне.

**Описание проблемы (обзор).** Транспортное поведение населения изучается как иностранными, так и отечественными учеными и специалистами транспортной отрасли, однако глубина и изученность темы не позволяют говорить о том, что есть обобщенные схемы, модели и математическое описание поведения пассажиров. Очень мало информации имеется о том, как именно пассажир принимает решение – совершит он поездку или нет, т. е. поведенческие модели практически не исследуются. Основные направления исследований транспортного поведения, предлагаемые авторами настоящей работы, следующие: создание теоретического аппарата для описания «транспортного поведения»; разработка математической модели транспортной системы индивидуальных перемещений; построение системы управления транспортным поведением.

**Материалы и методы.** В качестве основного метода исследования в статье применяется общий системный подход. Модели поведения пассажиров, а также их реакции на изменения, происходящие в транспортной системе, описываются с помощью термина «паттерн». Таким образом, дополнительно применяется метод анализа паттернов в нелинейной динамике.

**Результаты.** Дано определение понятию «паттерн» транспортного поведения. С позиций теории транспортных макросистем паттерном можно назвать совокупность конкретных состояний, которые «выбирает» элемент (индивид, транспортное средство и т. д.) на различных структурных уровнях транспортной макросистемы из подмножества допустимых.

**Обсуждение и заключение.** В настоящей работе предложен новый подход к описанию транспортного поведения с позиций различных научных дисциплин, теории макросистем, что закладывает базис для создания теории транспортного поведения, которая в настоящее время отсутствует. В результате исследований получено: 1) формулировка системы, которая наиболее полным образом отражает сущность «транспортного поведения», – это транспортная система индивидуальных перемещений; 2) показано, что построение такой системы лучше всего делать в рамках теории макросистем; 3) предложено такое понятие, как «пространственно-временная диаграмма» транспортного поведения, установлена ее связь с традиционным термином нелинейной динамики, таким как «паттерн поведения нелинейной системы»; 4) предложено развитие термина «граф транспортного поведения» в направлении учета всех фаз транспортного процесса (дотранспортная, транспортная, послетранспортная), что отражается на пространственно-временной диаграмме.

**КЛЮЧЕВЫЕ слова:** транспортная система, коллективное поведение, транспортное поведение, выбор вида транспорта, паттерн, теория макросистем, сложная система

© Агуреев И.Е., Ахромешин А.В., 2021

Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Коллектив авторов выражает благодарность анонимным рецензентам и благодарит редакцию журнала за обработку статьи и возможность её опубликования.

Статья поступила в редакцию 30.10.2021; одобрена после рецензирования 13.12.2021; принята к публикации 14.12.2021.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. Обоснование выбора теоретического аппарата для описания транспортного поведения жителей города (мегаполиса) // Вестник СибАДИ. 2021. Т.18, № 6(82). С. 746-758. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-746-758>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-746-758>

## JUSTIFICATION FOR THE CHOICE OF A THEORETICAL APPARATUS TO DESCRIBE THE TRANSPORT BEHAVIOUR OF CITY RESIDENTS (MEGAPOLIS)

Igor E. Agureev, Andrey V. Akhromeshin  
Tula State University, Tula, Russia  
[agureev-igor@yandex.ru](mailto:agureev-igor@yandex.ru)  
[aakhromeshin@yandex.ru](mailto:aakhromeshin@yandex.ru)

### ABSTRACT

**Introduction.** The article presents an analysis of scientific papers on transport behavior, transport mobility of the population and patterns of behavior of passengers (individuals). The construction of mathematical models of transport behavior based on the theory of macrosystems has scientific novelty and prospects for study and implementation in practice. An urgent task on this path is to study the nature of collective behavior resulting from the interaction of multiple motives when making a decision about a trip. At the same time, in the flows of passengers and vehicles, it is assumed that there are spatio-temporal structures that reflect transport behavior at the macro level.

**Description of the problem (overview).** The transport behavior of the population is studied by both foreign and domestic scientists and specialists of the transport industry, however, the depth and study of the topic does not allow us to say that there are generalized schemes, models and mathematical descriptions of passenger behavior. Very little information is available about how exactly a passenger makes a decision whether he will make a train or not, i.e. behavioral models are practically not investigated. The main directions of research of transport behavior proposed by the authors of this work are as follows: creation of a theoretical apparatus for describing "transport behavior"; development of a mathematical model of the transport system of individual movements; construction of a transport behavior management system.

**Materials and methods.** The article uses a general systematic approach as the main research method. Passenger behavior patterns, as well as their reaction to changes occurring in the transport system, are described using the term "pattern". Thus, the method of pattern analysis in nonlinear dynamics is additionally applied.

**Results.** The definition of the concept of "pattern" of transport behavior is given. From the standpoint of the theory of transport macrosystems, a pattern can be called a set of specific states that an element (an individual, a vehicle, etc.) "chooses" at various structural levels of a transport macrosystem from a subset of acceptable ones.

**Discussion and conclusions.** This paper proposes a new approach to the description of transport behavior from the standpoint of various scientific disciplines, the theory of macrosystems, which lays the basis for the creation of a theory of transport behavior, which is currently absent. As a result of the research, it was obtained: 1) the formulation of the system that most fully reflects the essence of "transport behavior" is a transport system of individual movements; 2) it is shown that the construction of such a system is best done within the framework of the theory of macrosystems; 3) such a concept as a "space-time diagram" of transport behavior is proposed, its connection with the traditional term of nonlinear dynamics, such as "pattern of behavior of a nonlinear system", is established, 4) the development of the term "graph of transport behavior" is proposed in the direction of taking

© Agureev I.E., Akhromeshin A.V., 2021



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

into account all phases of the transport process (pre-transport, transport, post-transport), which is reflected in the space-time diagram.

**KEYWORDS:** *transport system, collective behavior, transport behavior, choice of mode of transport, pattern, theory of macrosystems, complex system.*

**ACKNOWLEDGEMENTS:** *The team of authors expresses gratitude to anonymous reviewers and thanks the editorial board of the journal for processing the article and the possibility of its publication.*

*The article was submitted 30.10.2021; approved after reviewing 13.12.2021; accepted for publication 14.12.2021.*

*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., Akhromeshin A.V. Justification of the choice of a theoretical apparatus to describe the transport behavior of city residents (megapolis). The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2021; 18 (6): 746-758. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-746-758>

## ВВЕДЕНИЕ

В статье [1] представлен новый подход к определению транспортного поведения (ТП) населения городских агломераций, а также намечены основные векторы развития данной тематики, предложен новый подход к описанию транспортного поведения с позиций различных научных дисциплин, теории макросистем, что закладывает базис для создания теории транспортного поведения, которая в настоящее время отсутствует. При этом исследование транспортного поведения проводится на уровне «система в целом», а не отдельных ее элементов, что позволяет формировать общие подходы к управлению транспортным поведением с целью достижения оптимальных характеристик функционирования транспортной системы города (агломерации).

Математическое описание транспортной системы, представленное в работе [1], имеет общий вид, требует расширения и дополнения. Построение математических моделей на основе теории макросистем, притом что любая транспортная система – многокомпонентная неоднородная и открытая система, имеет научную новизну и перспективы для изучения и внедрения на практике в транспортной отрасли.

Актуальной задачей на этом пути является изучение природы коллективного поведения с позиций влияния мотивов при принятии решения о поездке и возникновения пространственно-временных структур перемещений пассажиров и транспортных средств, т. е. образование пассажиропотоков и потоков транспорта, а также рассмотрение понятия ТП с точки зрения психологии, социологии и урбанистики.

Целью настоящей работы является созда-

ние нового подхода к описанию транспортного поведения с позиций различных научных дисциплин (теории макросистем, сложных систем), что закладывает базис для создания теории транспортного поведения, которая в настоящее время отсутствует.

Теоретическая значимость работы состоит в следующем: описание системы, которая наиболее полным образом отражает сущность «транспортного поведения», – это транспортная система индивидуальных перемещений; показано, что построение такой системы лучше всего делать в рамках теории макросистем; предложено такое понятие, как «пространственно-временная диаграмма» (ПВД) транспортного поведения, установлена ее связь с традиционным термином нелинейной динамики, таким как «паттерн поведения нелинейной системы».

Практическая значимость состоит в возможности построения системы управления транспортным поведением населения на основе графа транспортного поведения при учете всех фаз транспортного процесса (дотранспортная, транспортная, послетранспортная), что является вопросом дальнейшей работы авторов данной статьи.

Описание проблемы (обзор)

Рассмотрим современную проблематику, связанную с понятием «транспортное поведение». Учитывая, что этому термину посвящено не так много исследований, а еще меньше выполнено работ, направленных на создание системы управления транспортным поведением, обобщим материал и отметим наиболее важные проблемы в данной области.

Формирование представления о передвижениях населения на данный момент складывается из четырех типов поездок [2]: 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.

В литературе наиболее широко представлены следующие способы расчета корреспонденций:

- гравитационные модели [3, 4];
- энтропийная модель Дж. Вильсона<sup>1</sup> [5, 6, 7].

В работе [8] автор приводит следующее мнение: «Транспортное поведение слишком многовариантно и скорость его изменений опережает темп его изучения. Эмпирические исследования до настоящего времени не привели к обнаружению фундаментальных законов или хотя бы закономерностей универсального характера, которые могли бы служить базой для теоретических построений ... в настоящее время еще и нет теории транспортного поведения как научного направления. Нынешнее состояние теории транспортного поведения можно характеризовать как результат молодости этого направления в науке».

На основе выводов, представленных автором статьи [8], можно заключить следующее:

- необходимость систематически использовать понятие «расщепление» для моделирования транспортной системы города;
- конкретные организационные мероприятия, осуществляемые для управления ТП;
- необходимо «воспитания у населения понимания современных транспортных проблем города, стереотипа поведения при пользовании городским транспортом».

Целью проведения исследования<sup>2</sup> является выяснение количественных параметров транспортного поведения населения РФ, при этом решены следующие задачи: определение теоретической базы, составление методического инструментария, сбор и анализ количественных данных, характеризующих транспортное поведение.

В работах [9, 10] авторами<sup>3</sup> рассмотрена в качестве объекта исследования саморазвивающаяся социоприродоэкономическая транспортная система, разработана интегрированная система логистического управления движением на улично-дорожной сети города, предложен алгоритм адаптивного управления транспортными потоками на улично-дорожной сети города с использованием светофорного регулирования, учитывающий экологический фактор. Это дало определение правильного сочетания мероприятий, которые должны быть осуществлены в транспортной системе, то есть рациональных для транспортной системы и устойчивых для здоровья людей и окружающей среды и требующих минимальных экономических ресурсов.

В иностранной литературе также обсуждается вопрос о транспортной мобильности, подвижности и транспортном поведении населения городов.

В работе [11] рассмотрены симуляционные модели транспортной мобильности. Авторы отмечают важность таких понятий, как устойчивая мобильность (Sustainable Mobility), система поддержки принятия решений (Decision Support System), транспортное планирование. Понятие «устойчивая мобильность» связано с транспортным планированием городов и районов с целью устойчивого использования имеющихся ресурсов (инфраструктуры транспортной системы). Отмечено, что политика устойчивого развития городского транспорта весьма различна с точки зрения затрат и ожидаемых выгод. Последствия этой политики и их комбинаций трудно предвидеть на интуитивной основе, конечный эффект может противоречить интуитивным ожиданиям (например, политика, направленная на сокращение загрязнения, в конечном итоге приводит к его увеличению). Вводится понятие концепции «экорационального» планирования городской среды, рассмотрена модель паттерна ежедневной индивидуальной активности пассажира (DIAPM) и влияние этого поведения на состояние городской среды, в том числе на экологическую обстановку в городе.

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

<sup>2</sup> Мулеев Е.Ю. Транспортное поведение населения России: краткий отчет о социологическом исследовании / Е.Ю. Мулеев. – М.: Институт экономики транспорта и транспортной политики НИУ ВШЭ. 2015. 37 с.

<sup>3</sup> Корчагин В.А., Турусов А.А., Ризаева Ю.Н. Научные основы организации эффективного грузодвижения [Текст]: монография. Душанбе: ТТУ, 2012. 160 с.

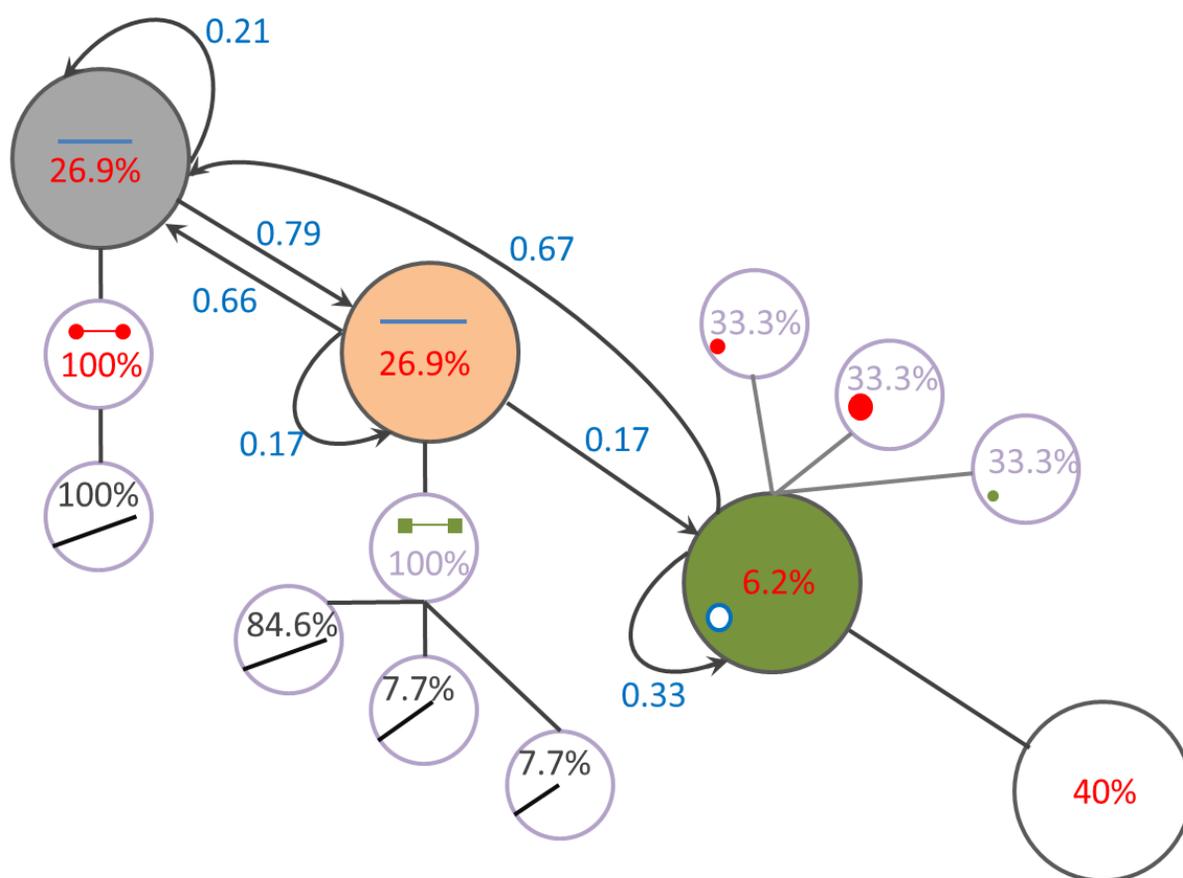


Рисунок 1 – Индивидуальный граф поведения пассажира при поездках

Figure 1 – Individual schedule of passenger behavior during trips

Работа [12] посвящена выявлению факторов, которые влияют на выбор транспорта пассажиром. Основными факторами при выборе типа транспорта отмечены следующие: *доход семьи; владение транспортным средством (наличие автомобиля в семье); безопасность; комфорт; расстояние поездки; стоимость поездки; надежность по времени прибытия*. При этом выделяются три категории факторов: 1) *характеристики пассажира* (возраст/пол; доход; владение автомобилем; наличие водительских прав); 2) *характеристики передвижения* (цель поездки; время суток, когда совершается поездка; совершается поездка в одиночку или с другими участниками); 3) *характеристики транспортного средства* (аренда автомобиля на время; за-

траты на поездку; наличие и стоимость парковки; надежность времени в пути (прибытия); комфорт и удобство; безопасность).

В статье [13] авторами описывается разработанный метод изучения поведения пассажира на основе графов регулярности поездок на различных видах общественного транспорта. Метод эффективен для прогнозирования поведения пассажира при выборе следующей поездки, причем модель отдельно учитывает перемещения на каждом виде общественного транспорта, цепочку передвижения пассажира в пространстве, распределение времени поездок. В данном методе применяется вероятностный подход. Применение данной модели на практике может быть сделано для прогнозирования спроса на перевозки.

Поясним рисунок 1: для конкретного пассажира доля поездок на общественном транспорте составляет 60% (26,9%+26,9%+6,2%) от всех поездок этого пассажира. При этом первый тип поездки (серый круг, 26,9%) – передвижение утром на автобусе с вероятностью 100%; второй тип поездки (оранжевый круг, 26,9%) – передвижение вечером тремя возможными типами транспорта, но с вероятностью 84,6% – автобусом. Поездки первого и второго типа носят кольцевой характер, т. е. дом – работа, работа – дом. Третий тип поездки – поездки на короткие расстояния тремя видами транспорта с равной вероятностью выбора.

Результаты исследования обобщены в виде графа (см. рисунок 1). Разбивка пассажиров на различные группы по стабильности спроса на перевозки позволяет сформировать более комфортное общественное транспортное обслуживание, использование таких вариантов/режимов, как «быстрый автобус», «скоростной автобус-челнок», «мини-автобус».

Выводы по рассмотренным выше публикациям могут быть сделаны следующие: 1) транспортное поведение может быть рассмотрено с различных позиций, а именно с точки зрения факторов, обуславливающих выбор вида передвижения в соответствии с определенными целями поездок; 2) транспортное поведение может быть исследовано различными методами, в частности, с помощью метода графов связей описывается общая картина подвижности индивидов по целям, времени, дальности поездки и виду используемого транспорта; 3) коллективное транспортное поведение есть результат взаимодействия отдельных транспортных процессов каждого из пассажиров; 4) выявлен конструктивный термин, такой как паттерн ежедневной индивидуальной активности пассажира, лежащий в основе изучения закономерностей в поведении пассажиров и согласующийся с предложенным ранее авторами в [1] понятием транспортной системы индивидуальных перемещений (ТСИП); 5) подтверждается намерение продолжать изучение транспортного поведения с помощью теории транспортных макросистем.

Выводы по обзору (проблематике)

Исходя из вышеприведённых материалов, можно сделать вывод о том, что транспортное поведение населения изучается как ино-

странными, так и отечественными учеными и специалистами транспортной отрасли, однако глубина и изученность темы не позволяют говорить о том, что есть обобщенные схемы, модели и математическое описание поведения пассажиров.

Важно отметить, что в отечественной и зарубежной литературе мало информации о том, как именно пассажир принимает решение о том, совершит он поездку или нет, т. е. поведенческие модели практически не исследуются.

Основные направления продолжения изучения транспортного поведения могут быть следующие:

- разработка теоретического аппарата для описания «транспортного поведения»;
- разработка математической модели транспортной системы индивидуальных перемещений;

- построение системы управления ТП.

Дальнейшие исследования авторы настоящей работы проводят с позиций теории сложных систем, теории макросистем.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве основного метода исследования в статье применяется общий системный подход. Дополнительно применяется метод анализа паттернов в нелинейной динамике.

Модели поведения пассажиров, а также их реакции на изменения, происходящие в транспортной системе, можно описывать с помощью термина «паттерн». Рассмотрим определение и описание данного термина, которые встречаются в литературе. Отметим, что применение данного термина возможно на различных структурных уровнях, относящихся к ТП. Слово «паттерн» (pattern) имеет английское происхождение и в буквальном смысле переводится как «образец», «модель», «форма», «тип», «шаблон»<sup>4</sup>. Для понимания того, насколько широко данный термин может использоваться в различных системах, результаты анализа представлены нами в виде таблицы.

Из таблицы видно, что паттерн может возникать на различных структурных уровнях транспортной системы и состоять из совершенно разных наборов количественных данных. Кроме этого, необходимо использовать различные аналогии между транспортными

<sup>4</sup> Мюллер В.К. Англо-русский словарь: 40000 сл. / В.К. Мюллер, С.К. Боянус. М.: Астрель; Аст; Ермак, 2003. – 1424 с., С. 418.

Таблица  
Паттерны в различных системахTable  
Patterns in various systems

№ п /п	Тип системы	Описание паттерна	Аналогия и/или пример использования в ТСИП
1	Физико-химическая (активная среда)	В работах [16, 17, 18] изучается распределенная стохастическая модель бросателя с диффузией. В зоне неустойчивости Тьюринга генерируется множество устойчивых пространственно неоднородных паттернов. Изучаются вызванные шумом переходы между сосуществующими паттернами. Стохастическая чувствительность паттерна составляет количественно, определяется как среднеквадратичное отклонение от исходного невынужденного паттерна	Пространственно-временные структуры распределения пассажиров в ЦМТ в течение дня
2	Социальная (поведение индивидов в обществе)	«Отдельные поведенческие паттерны и целостная личность представляются всесторонне обусловленными теми типами ситуаций и цепочками опыта, с которыми индивид сталкивается в ходе своей жизни. Региональные и экологические исследования поведения, с которыми идентифицируются Парк, Бёрджесс, Трэшер, Шоу, Зорбо и др., пытаются измерить, какое влияние на формирование паттернов поведения в сообществе оказывают конфигурация и диспозиция социальных стимулов, представленных институтами, местами, социальными группами и индивидуальными личностями» [14]	Предполагается, что наборы и конфигурации стимулов как инструмент «воспитания» необходимого транспортного поведения может использоваться на практике. Пример: платное парковочное пространство
3	Социокультурная среда	<i>В статье<sup>1</sup> рассматривается процесс идентификации человека и группы людей в социально-культурных процессах с точки зрения реакции на события различного происхождения. События в процессе цивилизационного развития рассматриваются как изменения состояния различных параметров социальной реальности. События выступают маркерами-маяками, они по определению значимы и ценны для личности и общества, находятся на виду, и по ним можно ориентироваться в современном информационном обществе. Серии событий формируют поведенческие паттерны отдельных людей и групп в социальной реальности, представляют собой разметку социального пространства, разделяют и объединяют людей, придают смыслы, участвуют в создании норм и ценностей общества</i>	Подход может быть транслирован в теорию транспортных систем с позиции оценки влияния серии событий на формирование паттернов поведения, т.е. позволяет рассмотреть это как динамический процесс, создаваемый событийным рядом и формирующим событийные последовательности в транспортных системах
4	Системы с искусственным интеллектом (автоматизация производства)	Паттерны поведения формируются в процессе обучения, воспитания, а также в наблюдениях за окружающими. С учетом особенностей наблюдаемых объектов, постоянных изменений поведенческих характеристик во времени и пространстве состояний необходимо группирование наблюдаемых признаков для анализа и синтеза. Подход основан на использовании группировки характеристик, получаемых от автономного устройства в поведенческие «паттерны» [15]	Автономные устройства, беспилотные транспортные средства, производство «без участия человека», что обуславливает необходимость контроля процессов управления, связанных с мехатронными устройствами

<sup>1</sup> Герасимов С. В. Событийная идентичность // Человек. Культура. Образование – Human. Culture. Education. 2021, №1 (39). С.25–39. <https://doi.org/10.34130/2233-1277-2021-1-25>.

5	Транспортная система	Обзор [19] показывает, как модель мобильности российских городов отличается от моделей, существующих в других частях мира, включая США, Европу и некоторые азиатские примеры, чтобы определить правильные «образцы для подражания» с наиболее близкими показателями поведения в поездках	Набор количественных показателей транспортного поведения: частота поездок, среднее пройденное расстояние, цель поездки, распределение по видам транспорта и время в пути – это паттерн в ТСИП
6	Транспортная система городов	К фундаментальным принципам развития городов относятся: иерархия приоритетов в городе; принцип «80:20»; «здоровые улицы – здоровые люди», «совершенные улицы»; нулевая терпимость к ДТП (Vision Zero); развитие сети велодорожек и скоростного экологически чистого рельсового общественного транспорта; создание преимущественных прав проезда для общественного транспорта; компактность, полицентричность, транзитно-ориентированность городских территорий; интернализация внешних эффектов от автотранспорта; умный транспорт, мультимодальность транспортных узлов; рассмотрение транспортной системы как интегральной составляющей устойчивости города (холистический взгляд). Выявлено, что в проанализированных стратегиях мобильности транспорт как стратегическое направление органично вписан в общую траекторию устойчивого долгосрочного развития и повышения «подлинного человеческого благополучия» [20]	Иерархия приоритетов в городе означает наличие системы приоритетов, не только финансовых, но и ценностных; принцип «80:20» – повышение доли экомобильности (доля устойчивых видов передвижений до 80% и снижению доли автомобилей до 20%) и т. д. Набор конкретной реализации принципов представляется как паттерн развития городской транспортной системы
7	Транспортный поток	Реализация паттерна «Легковес»: на основе платформы моделирования SUMO могут разрабатываться различные решения для имитационного микроскопического моделирования транспортных потоков (ТП), в том числе браузерные (веб-ориентированные). Предлагается подход к веб-ориентированному моделированию ТП, обеспечивающий снижение требований к аппаратному обеспечению клиентского компьютера и сетевому подключению <sup>2</sup>	При микроскопическом подходе каждое транспортное средство описывается габаритами, весом, пространственным положением, скоростью и функцией ускорения. Отображение таких детализированных данных о ТП в браузере позволяет собирать более или менее однородные группы ТС, ведущих себя практически одинаково (паттерн)
8	Пассажиропоток	Выделены несколько паттернов поведения пассажиров на автобусных остановках [21]. Проведено несколько сеансов моделирования перемещений пассажиров между остановками городского пассажирского общественного транспорта, принадлежащим разным уровням привлекательности остановок для пассажиров. Рассмотрены особенности квазидетерминированного перемещения пассажиров между остановками городского пассажирского транспорта, не включенными в список остановок массового привлечения пассажиропотока, и точками массового привлечения пассажиров	Типичные закономерности в выборе остановок назначения и в часовом потоке пассажиров от остановок отправления, ежедневные посещения остановок массового привлечения пассажиропотока также могут в совокупности представлять собой коллективный паттерн транспортного поведения пассажиров

<sup>2</sup> Головин О.К. Повышение эффективности использования аппаратных ресурсов браузерными программными средствами моделирования транспортного потока / О.К. Головин, К.В. Пупынин // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2019) [Электронный ресурс] : труды Международной научно-технической конференции / [редкол.: Прохоров С. А. (гл. ред.) и др.]. Самара: Издательство Самарского научного центра РАН. 2019. С. 433–434.

системами и системами иной природы, в том числе социальными, психологическими, техническими, физико-химическими, делая акцент на сложности поведения этих сравниваемых систем. Таким образом, можно заключить, что анализ паттерна транспортного поведения необходимо осуществлять с учетом следующих особенностей:

- 1) иерархичность, т.е. наличие нескольких структурных уровней;
- 2) нелинейность, т.е. сложная взаимосвязь элементов, приводящая к множеству различных возможностей развития и бифуркациям;
- 3) наличие аналогий с поведением естественных систем (физических, химических и других).

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Транспортная система индивидуальных перемещений – это идеалистическая система, которая распространяется на дотранспортную, транспортную и послетранспортную фазы в соответствии с определением транспортного процесса. Учитывая циклический характер транспортных процессов (или циклический характер функционирования ТС), можно послетранспортную фазу для индивида рассматривать в виде оценки эффективности поездки (рисунок 2).

Чем лучше индивиды знают о ТС, тем «правильнее» они будут себя «вести». Таким образом, возникает идея об улучшении информированности населения о реальной ТС. Другими способами управления идеалистическими системами являются:

- демонстрация примеров «лучших практик»;
- создание системы стимулов и ограничений;
- создание сервисов, обеспечивающих информирование обо всех вышеуказанных функциях;
- долговременные системы обучения;
- создание интегральных информационных платформ обработки данных и принятия решений;
- создание системы индикаторов эффективности (архитектуры индикаторов) по

оценке эффективности принимаемых решений (проектов).

Определение сложных систем по Олемскому:

«В связи с этим особую актуальность приобрели исследования коллективного поведения, проявляющегося в самоорганизации физических, биологических, социальных и других систем. Благодаря тому что их поведение может изменяться непредсказуемым образом в зависимости от состояния их составляющих и внешних условий, такие системы получили название сложных»<sup>5</sup>.

Представляется интересным совмещение классических способов расчета спроса и предложения на рынке пассажироперевозок и искусственного интеллекта (наложение нейронных сетей, семантический нейросетевой анализ проектирования интеллектуальных систем и т. д.).

В книге<sup>6</sup> большое внимание уделено рассмотрению понятия «сложная система», а также описанию сложных систем с позиций термодинамики, статистической физики и синергетического подхода. Автор приводит примеры сложных систем в физике, биологии, химии, технике и т. д.; причем сложность системы обуславливается не только большим количеством элементов, но и сложным поведением самой системы.

С позиций теории транспортных макросистем паттерном можно назвать совокупность конкретных состояний, которые «выбирает» элемент (индивид, транспортное средство и т. д.), различных структурных уровней транспортной макросистемы из подмножества допустимых.

На рисунке 2 обозначены: *A* – дотранспортная фаза; *B* – транспортная фаза; *C* – послетранспортная фаза; *1* – масштабный уровень транспортного района; *2* – масштабный уровень маршрута; *3* – масштабный уровень транспортной системы.

Пространственно-временная диаграмма показывает распределение транспортных систем по объемам перевозок, распределение маршрутов по пассажиропотокам, распределение транспортных районов по объемам прибытий-отправлений.

Данную диаграмму можно построить как для одного пассажира, так и для какой-либо

<sup>5</sup> Олемской А.И. Синергетика сложных систем: Феноменология и статистическая теория. М.: Красанд, 2009. 379 с.

<sup>6</sup> Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам. Пер. с англ. / Предисл. Ю.Л. Климонтовича. Изд. 3-е, испр. и знач. доп. М.: УРСС: ЛЕНАРД, 2014. 320 с.

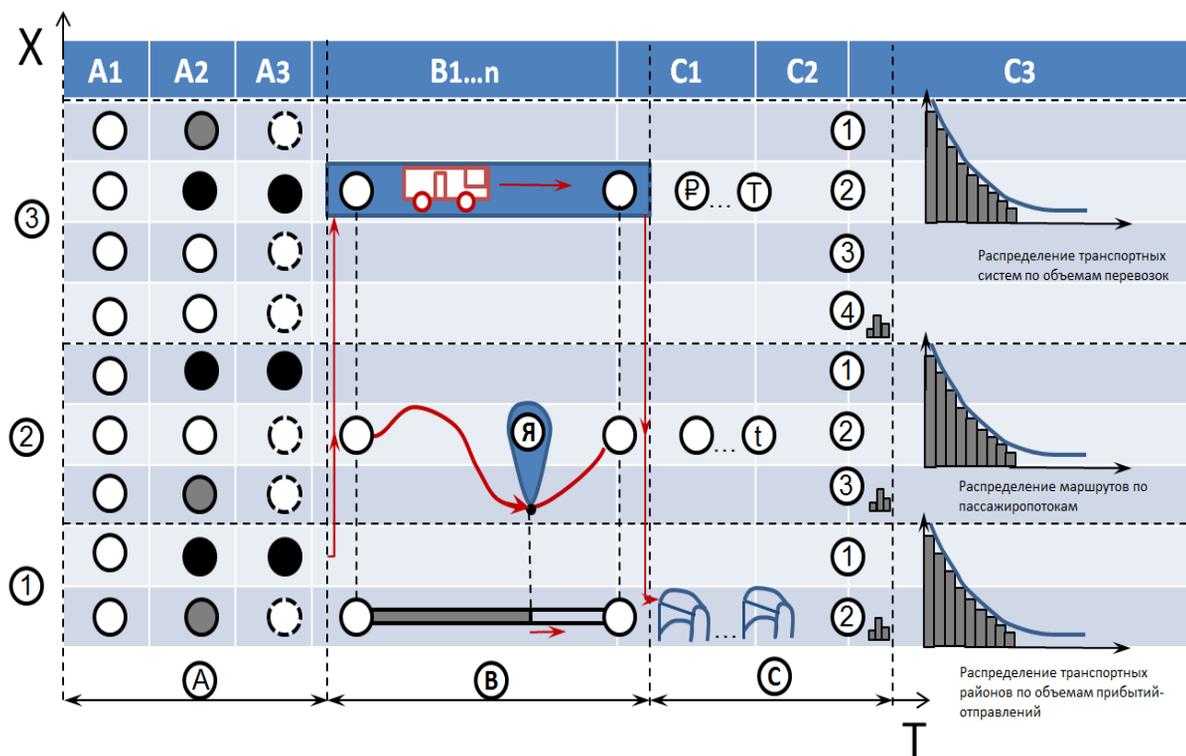


Рисунок 2 – Пространственно-временная диаграмма транспортного поведения

Figure 2 – Space-time diagram of transport behavior

совокупности индивидов, «собранных» по различным признакам:

- а) в рамках общей целевой группы (по целям поездки);
- б) в рамках общей социальной группы (по принципам социального поведения);
- в) в рамках профессионального сообщества (при решении крупной производственной задачи).

Изучение и анализ ПВД на транспортной фазе позволит оптимизировать дорожную обстановку города путем организации координированного трафика, кратных переключений фаз работы светофоров, фазового сдвига между перекрестками и другими воздействиями, которые допускаются в интеллектуальных транспортных системах.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе предложен новый подход к описанию транспортного поведения с позиций различных научных дисциплин, теории макросистем, что закладывает базис для создания теории транспортного поведения, которая в настоящее время отсутствует.

Обобщен материал и отмечены наиболее важные проблемы в данной области. Так, различными учеными решены следующие задачи: выполнено определение теоретической базы, составлен методический инструментарий, сделан сбор и анализ количественных данных, характеризующих транспортное поведение. В рамках подхода к социоприродо-экономическим системам предполагаются мероприятия, рациональные для транспортной системы, устойчивые для здоровья людей и окружающей среды и требующие минимальных экономических ресурсов. В иностранной литературе также обсуждается вопрос о транспортной мобильности, подвижности в связи с транспортным поведением населения городов.

Следует отметить, что в научной литературе мало информации о том, как именно пассажир принимает решение о том, совершит он поездку или нет, т. е. поведенческие модели практически не исследуются.

Основные направления исследования транспортного поведения могут быть следующие:

- разработка теоретического аппарата для описания «транспортного поведения»;
- разработка математической модели транспортной системы индивидуальных перемещений;
- построение системы управления ТП.

Исследования проводятся с позиций теории сложных систем, с использованием практически всего аппарата теории макросистем.

В результате исследований получено: 1) формулировка системы, которая наиболее полным образом отражает сущность «транспортного поведения», – это транспортная система индивидуальных перемещений; 2) показано, что построение такой системы лучше всего делать в рамках теории макросистем; 3) предложено такое понятие как «пространственно-временная диаграмма» транспортного поведения, установлена ее связь с традиционным термином нелинейной динамики, таким как «паттерн поведения нелинейной системы»; 4) предложено развитие термина «граф транспортного поведения» в направлении учета всех фаз транспортного процесса (дотранспортная, транспортная, послетранспортная), что отражается на ПВД.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агуреев И.Е., Ахромешин А.В. Подходы к формализации понятия транспортного поведения населения городских агломераций // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2021. № 2. С. 60–70. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-60.
2. Швецов В.И. Проблемы моделирования передвижений в транспортных сетях // ТРУДЫ МФТИ. 2010. Том 2, № 4. С. 169–179.
3. Швецов В.И. 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.
4. Carrothers G.A.P. An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction // J. American Instit. Planners. 1956. V. 22. P. 94–102.
5. Wilson, A.G. A statistical theory of spatial distribution models. Transportation Research, 1967, Vol. 1, Iss. 3, pp. 253–269. DOI: [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(67\)90035-4](https://doi.org/10.1016/0041-1647(67)90035-4).
6. Wilson, A.G. Complex Spatial Systems. The Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis. 1st ed., London, 2000, 184 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315838045>.
7. Wilson, A.G. The «Thermodynamics» of City: Evolution and Complexity Science in Urban Modelling. Complexity and Spatial Networks, Advances in Spatial Science. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 11–31. [Электронный ресурс]: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-01554-0\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-01554-0_2). Доступ 21.02.2020.
8. Федоров В.А. Транспортное поведение индивидуумов – основной источник городских транспортных проблем // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 309–316.
9. Сложные саморазвивающиеся транспортные системы / Корчагин В.А. [и др.] // Мир транспорта и технологических машин 2016. № 2 (53). С. 110–116.
10. Корчагин В.А., Ризаева Ю.Н. Ноосферологические подходы создания социоприродоэкономических транспортно-логистических систем // Автотранспортное предприятие. 2012. № 1.
11. Urban sustainable mobility. Part 2: Simulation models and impacts estimation March 2015. Transport Problems 10(1):5-16 DOI:10.21307/tp-2015-001. [https://www.exeley.com/exeley/journals/transport\\_problems/10/1/pdf/10.21307\\_tp-2015-001.pdf](https://www.exeley.com/exeley/journals/transport_problems/10/1/pdf/10.21307_tp-2015-001.pdf)
12. R.A.M. Madhuwanthi, Ashu Marasinghe, R.P.C. Janaka Rajapakse, Asanka D. Dharmawansa, Shusaku Nomura, Factors Influencing to Travel Behavior on Transport Mode Choice, International Journal of Affective Engineering 15(2), December 2015, DOI: <https://doi.org/10.5057/ijae.IJAE-D-15-00044>.
13. Quan Liang, Jiancheng Weng, Wei Zhou, Selene Baez Santamaria, Jianming Ma, Jian Rong (2018) Individual Travel Behavior Modeling of Public Transport Passenger Based on Graph Construction. Available at: <https://doi.org/10.1155/2018/3859830> / (accessed 09.09.2020).
14. Thomas W.I. The behavior pattern and situation // Publications of the American sociological society. – Chicago, 1928. – Vol. 22. – P. 1-13. eLibrary\_15340895\_58711678.
15. Сухопаров М.Е., Семенов В.В., Лебедев И.С., Гаранин А.В. Подход к анализу состояния узлов «индустрии 4.0» на основе поведенческих паттернов // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 5. С. 83–91. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-83-91.
16. Bashkirtseva I., Ryashko L., Slepukhina E. Stochastic generation and deformation of toroidal oscillations in neuron model, International Journal of Bifurcation and Chaos, 2018, vol. 28, no. 6, pp. 1850070. <https://doi.org/10.1142/S0218127418500700>.
17. Ryashko L. Sensitivity analysis of the noise-induced oscillatory multistability in Higgins model of glycolysis, Chaos, 2018, vol. 28, issue 3, pp. 033602. <https://doi.org/10.1063/1.4989982>.
18. Bashkirtseva I., Ryashko L. Stochastic sensitivity and method of principal directions in excitability analysis of the Hodgkin–Huxley model, International Journal of Bifurcation and Chaos, 2019, vol. 29, no. 13, pp. 1950186. <https://doi.org/10.1142/S0218127419501864>.
19. Савельева Е.О., Лоренс П. Сравнительный анализ моделей городской мобильности в России и за рубежом // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2019. № 3. С. 79–94. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.03.06.
20. Комаров В., Акимова В. Стратегии устойчивой мобильности: лучшие мировые практики // Экономическая политика. 2021. Т. 16, № 1. С. 82–103. DOI: 10.18288/1994-5124-2021-1-82-103.

21. Оценка пригодности модели перемещения пассажиров между остановками городского пассажирского общественного транспорта для выявления скрытых закономерностей поведения пассажиропотока / Крушель Е.Г. [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2021 № 4. [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2021/6936](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2021/6936).

## REFERENCES

1. Agureev I.E., Ahromeshin A.V. Podhody k formalizatsii ponyatiya transportnogo povedeniya naseleniya gorodskih aglomeracij [Approaches to formalization of the concept of transport behavior of the population of urban agglomerations] // *Intellekt. Innovacii. Investicii*. 2021. 2: 60–70. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-60. (in Russian)
2. Shvecov V.I. Problemy modelirovaniya peredvizhenij v transportnyh setyah [Problems of modeling movements in transport networks] *TRUDY MFTI*. 2010.2(4): 169-179. (in Russian)
3. Shvecov V.I. Modelirovanie transportnyh potokov v krupnom gorode s primeneniem k moskovskoj aglomeracii [Modeling of traffic flows in a large city with application to the Moscow agglomeration] // *Avtomatika i telemekhanika*. 2005. № 11. S. 113-125.
4. Carrothers G.A.P. An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction // *J. American Instit. Planners*. 1956. V. 22. P. 94-102.
5. Wilson, A.G. A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research*, 1967, Vol. 1, Iss. 3, ss . 253-269. DOI: [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(67\)90035-4](https://doi.org/10.1016/0041-1647(67)90035-4).
6. Wilson, A.G. *Complex Spatial Systems. The Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis*. 1st ed., London, 2000, 184 r. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315838045>.
7. Wilson, A.G. The «Thermodynamics» of City: Evolution and Complexity Science in Urban Modelling. *Complexity and Spatial Networks, Advances in Spatial Science*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009: 11-31. [Elektronnyj resurs]: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-01554-0\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-01554-0_2). Dostup 21.02.2020.
8. Fedorov V.A. Transportnoe povedenie individuumov – osnovnoj istochnik gorodskih transportnyh problem [The transport behavior of individuals is the main source of urban transport problems] // *Molodoj uchenyj*. 2015.18 (98): 309–316. (in Russian)
9. Slozhnye samorazvivayushchiesya transportnye sistemy [Complex self-developing transport systems] Korchagin V.A., Novikov A.N., Lyapin S.A., Rizaeva Yu.N. // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* 2016 2 (53): 110-116. (in Russian)
10. Korchagin, V.A. Noosferologicheskie podhody sozdaniya socioprirodokonomicheskikh transportno-logisticheskikh sistem [Noospherological approaches to the creation of socio-socio-economic transport and logistics systems] // *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2012: 1. (in Russian)
11. Urban sustainable mobility. Part 2: Simulation models and impacts estimation March 2015. *Transport Problems* 10(1):5-16 DOI:10.21307/tp-2015-001. [https://www.exeley.com/exeley/journals/transport\\_problems/10/1/pdf/10.21307\\_tp-2015-001.pdf](https://www.exeley.com/exeley/journals/transport_problems/10/1/pdf/10.21307_tp-2015-001.pdf).
12. R.A.M. Madhuwanthi, Ashu Marasinghe, R.P.C. Janaka Rajapakse, Asanka D. Dharmawansa, Shusaku Nomura, Factors Influencing to Travel Behavior on Transport Mode Choice, *International Journal of Affective Engineering* 15(2), December 2015, DOI: <https://doi.org/10.5057/ijae.IJAE-D-15-00044>.
13. Quan Liang, Jiancheng Weng, Wei Zhou, Selene Baez Santamaria, Jianming Ma, Jian Rong (2018) Individual Travel Behavior Modeling of Public Transport Passenger Based on Graph Construction. Available at: <https://doi.org/10.1155/2018/3859830> / (accessed 09.09.2020).
14. Thomas W.I. The behavior pattern and situation // *Publications of the American sociological society*. – Chicago, 1928. 22: 1-13. [elibrary\\_15340895\\_58711678](http://elibrary_15340895_58711678).
15. Suhoparov M.E., Semenov V.V., Lebedev I.S., Garanin A.V. Podhod k analizu sostoyaniya uzlov «industrii 4.0» na osnove povedencheskih patternov [An approach to analyzing the state of Industry 4.0 nodes based on behavioral patterns] // *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyah Zemli*. 2020. 12(5): 83–91. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-83-91.
16. Bashkirtseva I., Ryashko L., Slepukhina E. Stochastic generation and deformation of toroidal oscillations in neuron model, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 2018, 2(6): 1850070. <https://doi.org/10.1142/S0218127418500700>.
17. Ryashko L. Sensitivity analysis of the noise-induced oscillatory multistability in Higgins model of glycolysis, *Chaos*, 2018, 28(3): 033602. <https://doi.org/10.1063/1.4989982>.
18. Bashkirtseva I., Ryashko L. Stochastic sensitivity and method of principal directions in excitability analysis of the Hodgkin-Huxley model, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 2019, 29 (13): 1950186. <https://doi.org/10.1142/S0218127419501864>.
19. Savel'eva E.O., Lorens P. Sravnitel'nyj analiz modelej gorodskoj mobil'nosti v Rossii i za rubezhom [Comparative analysis of urban mobility models in Russia and abroad] // *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*. 2019. 3: 79–94. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.03.06. (in Russian)
20. Strategii ustojchivoj mobil'nosti: luchshie mirovye praktiki [Sustainable mobility strategies: world's best practices] // Komarov, V Akimova // *Ekonomicheskaya politika*. 2021. 16(1): 82–103 DOI: 10.18288/1994-5124-2021-1-82-103. (in Russian)
21. Krushel' E.G., Ogar T.P., Panfilov A.E., Stepanchenko I.V., Stepanchenko O.V. Ocenka prigodnosti modeli peremeshcheniya passazhirov mezhdu ostanovkami gorodskogo passazhirskogo obshchestvennogo transporta dlya vyyavleniya skrytykh zakonovnostej povedeniya passazhiropotoka [Assessment of the suitability of the model of passenger movement

between stops of urban passenger public transport to identify hidden patterns of passenger traffic behavior] // *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2021. 4 –2021ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6936. (in Russian)

### ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Агуреев И.Е. Формулировка научных положений публикации, постановка и решение задач исследований.*

*Ахромешин А.В. Разработка краткого обзора, решение поставленных задач исследования.*

### COAUTHORS' CONTRIBUTION

*Igor E. Agureev - The formulation of the publication's scientific statements and the formulation and resolution of the research objectives.*

*Andrey V. Akhromeshin - Development of a brief overview, achievement of the objectives of the study.*

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Агуреев Игорь Евгеньевич – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство».*

*Ахромешин Андрей Владимирович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство».*

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Igor E. Agureev, Dr. of Sci., Professor, Head of the Automobiles and Automobile Industry Department.*

*Andrey V. Akhromeshin, Cand. of Sci., Associate Professor of the Automobiles and Automobile Industry Department.*