

# ТРАНСПОРТ

УДК 519.6: 656.13: 537.8

DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-60

## ПОДХОДЫ К ФОРМАЛИЗАЦИИ ПОНЯТИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОВЕДЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

**И. Е. Агуреев<sup>1</sup>, А. В. Ахромешин<sup>2</sup>**

Тульский государственный университет, Тула, Россия

<sup>1</sup> e-mail: agureev-igor@yandex.ru

<sup>2</sup> e-mail: aakhromeshin@yandex.ru

***Аннотация.** В статье рассматривается область знаний о транспортном поведении пассажиров в сложных транспортных системах мегаполисов, крупных городов и их агломераций, в которых велико разнообразие транспортных систем. Эти системы образуют иерархии, где каждый уровень описывается математическими моделями однородных транспортных систем и служит областью принятия решений при реализации коллективного транспортного поведения.*

*Приведен обзор работ иностранных и отечественных авторов, затрагивающих вопрос определения понятия «транспортное поведение», его смыслового наполнения, представлен новый подход к определению транспортного поведения.*

*Представлено функциональное описание «транспортной системы индивидуального поведения» как коллективного результата принятых решений о поездках, возникающего в определенные отрезки времени в транспортной системе агломерации.*

*Приведено математическое описание транспортной системы на основе теории макросистем как многокомпонентной неоднородной открытой системы, в которой происходит множество решений о поездке и соответствующее множество транспортных процессов, обеспечивающих достижение критерия эффективности.*

***Цель исследования:** анализ существующих определений понятия «транспортное поведение» и его обобщения с позиций междисциплинарного подхода в рамках перспективной теории транспортного поведения.*

*Полученные **результаты** позволяют сделать вывод о целесообразности применения теории макросистем и смежных с ней дисциплин для построения математического аппарата теории транспортного поведения.*

***Ключевые слова:** транспортное поведение, улично-дорожная сеть, макросистема, мобильность населения, подвижность населения, транспортная система.*

***Для цитирования:** 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.*

## APPROACHES TO FORMALIZING THE CONCEPT OF TRANSPORT BEHAVIOR OF THE POPULATION OF URBAN AGGLOMERATIONS

**I. E. Agureev<sup>1</sup>, A. V. Akhromeshin<sup>2</sup>**

Tula State University, Tula, Russia

<sup>1</sup> e-mail: agureev-igor@yandex.ru

<sup>2</sup> e-mail: aakhromeshin@yandex.ru

***Abstract.** The article deals with the field of knowledge about the transport behavior of passengers in complex transport systems of megacities, large cities and their agglomerations, in which there is a great variety of transport systems. These systems form hierarchies, where each level is described by mathematical models of homogeneous transport systems and serves as a decision-making area for implementing collective transport behavior. A review of the works of foreign and domestic authors dealing with the definition of the concept of “transport behavior”, its*

*semantic content, a new approach to the definition of transport behavior is presented. The functional description of the "transport system of individual behavior" is presented as a collective result of the decisions made on trips that occur at certain time intervals in the transport system of the agglomeration.*

*The mathematical description of the transport system based on the theory of macrosystems is given as a multicomponent heterogeneous open system, in which there are many decisions about the trip and the corresponding set of transport processes that ensure the achievement of the efficiency criterion.*

**Key words:** transport behavior; street and road network, macro system, population mobility, population mobility, transport system.

**Cite as:** Agureev, I. E., Akhromeshin, A. V. (2021) [Approaches to formalizing the concept of transport behavior of the population of urban agglomerations]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 2, pp. 60–70. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-60.

## Введение

Современное развитие крупных городов России приводит к тому, что возрастают плотность населения, количество транспортных средств на улично-дорожной сети (УДС), протяженность и плотность дорог на УДС. При этом все более актуальным становится вопрос об изучении транспортного поведения (ТП) населения для понимания природы этого явления, установления закономерностей и самое главное – *формирования подходов* (методов, методик) *управления транспортным поведением* для достижения оптимальной работы всей транспортной системы (ТС) с точки зрения экономики ресурсов и удовлетворения транспортного спроса с высоким качеством предоставления транспортных услуг.

Данный подход находит свое отражение в работах [9 и 13], где указано, что «комфорт современной городской среды во многом определяется экологической составляющей, которая в условиях промышленного города формируется присутствием мощных автотранспортных потоков и промышленных предприятий на ограниченной территории» [13], «рациональное распределение маршрутных транспортных средств различных типов по маршрутам, осуществленное в результате ситуационного управления, способно удовлетворить требования всех четырех заинтересованных сторон системы ГПТ. Пассажир получит возможность воспользоваться для осуществления необходимой ему поездки маршрутным транспортным средством именно того типа, той цены поездки и того уровня комфорта, которые для него предпочтительны, при приемлемом времени ожидания транспортного средства именно этого типа» [9].

Перед учеными транспортной области стоит существенная научная проблема, решение которой сводится к созданию новых транспортных систем городов с точки зрения взаимодействия человека с развивающейся транспортной инфраструктурой города (городской средой), управляющей транспортным поведением отдельного пассажира и коллективным поведением пассажиров. При этом целями управления могут быть: минимизация издержек на поездки; сокращение вреда, наносимого транспортом окружающей среде; оказание транспортных услуг на новом, более комфортном уровне; повыше-

ние транспортной мобильности населения и др.

Известно, что описание транспортного поведения индивидуального пассажира (элемента системы) имеет случайную природу, практически не поддается формализации, а в некоторых случаях и логике. Поведение одного пассажира имеет частный характер, в то время как практический интерес для планирования и развития транспортной системы города (агломерации) представляет описание транспортного поведения групп пассажиров с целью выдачи практических рекомендаций по развитию УДС города, а также управлению транспортным поведением. Однако транспортное поведение, как и транспортная система города в целом, может быть описано в рамках математического аппарата теории макросистем, а также смежных с ней дисциплин, имеющих дело с объектами с большим числом элементов.

Глобальная цель, которая при этом может быть достигнута – улучшение экологической ситуации в городах, особенно крупных (с населением городских агломераций свыше одного миллиона человек), снижение трафика в часы пик, а также изменение образа жизни населения – переориентация поездок на личном транспорте с внутригородских по будним дням (дом, работа, больница, торговый центр) на поездки за город в выходные дни (отдых, туризм). Идея состоит в том, что при развитии городского пассажирского транспорта, его приоритизации, структура поездок (трудовые, культурно-бытовые, рабочие, коммуникативные и другие типы корреспонденций) при использовании личного автомобиля должна значительно меняться.

## Обзор литературы

Термин «транспортное поведение» стал предметом научных исследований недавно, а число научных работ по рассматриваемой теме и в России, и за рубежом невелико. По нашему мнению, такая ситуация сложилась из-за того, что транспортное поведение является *интегральным* понятием и включает в себя целый комплекс достаточно сложных факторов, таких как «мотивация перемещения», «экономическая целесообразность поездки», «принятие решения о поездке», «выбор варианта перемеще-

ния» и др., многие из которых относятся к области экономики, психологии, поведения отдельного пассажира. При этом существует несколько близких понятий, более измеримых и удобных для практического применения: *транспортная подвижность, транспортная мобильность, транспортный спрос*. Следует отметить, что первые упоминания термина «транспортное поведение», предположительно, появились в источниках [17, 19].

Тем не менее возникновение научного интереса к транспортному поведению произошло, видимо, вследствие того, что в нем заложено гораздо более широкое смысловое содержание. Исследования в области транспортного поведения позволяют более полно учесть все составляющие его факторы. Результаты исследований обещают получение новых теоретических знаний и практических методик для управления на транспорте.

Для того чтобы дать уточненное определение понятию «транспортное поведение», рассмотрим некоторые источники, в которых оно приводится.

В работе [11] дано следующее определение понятия: «Транспортное поведение – это совокупность сценариев подвижности, характеризующихся способом передвижения и величинами, которые могут быть измерены количественно: длительность поездки (корреспонденции), пройденное расстояние и др. Изменение транспортного поведения, свойственного городским сообществам, происходит под влиянием многих факторов: демографических сдвигов, смены экономических условий, эволюции городской формы и транспортного обеспечения».

В работе [5] приведены следующие выводы относительно понятия «транспортное поведение»: «Выступая калькой с английского («travel behavior»), оно зачастую используется как синоним и подвижности, и мобильности, что позволяет рассматривать его как универсальное понятие. В основании транспортного поведения оказывается социальная интенция, с одной стороны, и наличие инфраструктурных возможностей – с другой. При этом задачей выступает скорее объяснение транспортного поведения, а не его прогнозирование». Автор работы делает вывод, что «концепт «транспортное поведение» выступает как синтез количественных и качественных исследовательских методик».

В источнике [12] находим такое определение: «Транспортное поведение» как понятие принципиально отличается от часто используемого исследователями понятия «транспортная подвижность», так как представляет собой **интегральную характеристику побудительных мотивов использования городского общественного транспорта пассажиром**. <...> выбор вида транспорта и маршрута перемещения обусловлен не только минимизацией стоимости поездки, но и другими факторами, которые необходимо учитывать при описании системы

общественных городских перевозок».

Изучением транспортного поведения занимаются не только специалисты транспортной отрасли, но также и социологи, урбанисты, психологи. Однако ответы на многие вопросы по транспортному поведению пассажиров, влиянию предпочтений индивидуального пассажира и групп пассажиров на формирование транспортных систем города и агломераций, поведенческому подходу к описанию транспортных систем и т. д. еще не найдены.

Ответы на эти вопросы как раз и являются задачей настоящей статьи и последующих работ над данной проблематикой.

Основываясь на выводах, которые делают авторы вышеприведенных работ, а также, рассмотрев следующие публикации [2, 4, 6, 7, 8, 10, 14, 16, 17, 18], можно заключить, что транспортное поведение имеет сложную природу, описание данного термина связано с определением понятий «транспортная подвижность (мобильность) населения», у ученых нет единого подхода к формированию термина транспортное поведение. Кроме того, транспортное поведение крайне многовариантно, описание модели поведения индивидуального пассажира практически невозможно и нецелесообразно, теория транспортного поведения как научное направление не сформирована, практическое изучение понятия в России широко не проводится.

Актуальной задачей представляется создание теоретического аппарата для описания транспортного поведения на основе фундаментальных законов и закономерностей. Перспектива развития теории транспортного поведения представляется в рамках междисциплинарного подхода, основанного на знаниях ученых транспортной отрасли, а также таких дисциплин, как социология, психология, нелинейная динамика, физика, математические науки.

Итак, транспортное поведение как феномен отличается следующими свойствами, которые относятся к коллективному уровню его описания:

- 1) стохастическая природа;
- 2) множество участников, определяющих характеристики транспортного поведения;
- 3) множественность факторов выбора, формирующих динамику феномена;
- 4) междисциплинарность как база знаний для изучения данного предмета. Проблему транспортного поведения необходимо рассматривать тоже комплексно, исследовать не только в рамках транспортной науки (теории пассажирских перевозок), но и смежных областей знаний, таких как: социология, урбанистика, экономика и т. д.

**Научная проблематика работы** связана с отсутствием в настоящее время завершенного теоретического описания транспортного поведения совокупности индивидов в городской транспортной системе, позволяющего решать задачи планирова-

ния и управления в транспортных системах с максимальным учетом индивидуальных особенностей отдельных транспортных процессов.

#### **Теоретико-методологические предпосылки к определению транспортного поведения**

Необходимо иметь в виду, что «транспортное поведение» следует рассматривать двояко: 1) **явление**, наблюдаемое и измеряемое в реальных транспортных системах; 2) **объект управления**. В соответствии с этим подходом описание термина в первом и втором случае будет существенно отличаться, однако очевидно, что чем точнее будет первое описание, тем более прочной будет теоретическая база для решения последующих задач управления. Поэтому в рамках настоящей статьи мы сосредоточимся на первом определении.

В соответствии с общесистемным подходом опишем последовательно: 1) систему, в которой наблюдается изучаемое явление; 2) характер коллективного действия, определяющий измеримые параметры транспортного поведения; 3) научные дисциплины, которые используются сейчас при изучении данного явления; 4) уточненный перечень базовых понятий, необходимых для построения элементов теории транспортного поведения.

**Транспортная система.** Существует большое число определений транспортной системы. Это связано с тем, что каждое исследование имеет в виду конкретный объект, которому дается собственное обобщающее определение, пригодное для относительно широкого класса подобных систем. Однако разнообразие изучаемых объектов (транспортно-технологических комплексов) порождает и множество определений. Такую ситуацию следует считать нормальной, однако каждый шаг абстрагирования должен приводить ко все более точной и обобщающей терминологии.

На данном этапе не ставится задача описать различные варианты определений транспортной системы, но можно рекомендовать работы [5, 6] для ознакомления с указанным вопросом. С учетом цели настоящего исследования примем определение, вытекающее из [1].

Транспортная система есть совокупность элементов: а) логические и пространственные связи между стоками и источниками ресурсов (транспортных средств, грузов и т.д.); б) соответствующие временные характеристики связей, которые определяют время начала и продолжительности действия связей; в) соответствующие элементам (а) и (б) провозные возможности, обусловленные применяемым подвижным составом ТС, и пропускные способности сети как функции времени; г) план транспортного процесса (совокупность расписаний); д) критерии эффективности функционирования системы.

Действительно, в этом определении дано *струк-*

*турное описание* системы, перечислены основные факторы, которые дают возможность учитывать наличие «транспортного поведения» населения – то есть факторы, позволяющие осуществлять выбор.

Авторское определение транспортного поведения следующее: **ТП** – это совокупность микропроцессов принятия решений индивидов о характеристиках поездки в дотранспортной фазе, реализованная в виде макропроцесса в транспортной фазе.

Однако такое определение нужно рассматривать вместе с понятием «**транспортная система индивидуальных перемещений**» (**ТСИП**), которое представляет собой *функциональное описание* и предполагает ТС многокомпонентной, неоднородной, открытой системой, в которой происходит множество актов выбора и принятия решений о поездке и соответствующее множество транспортных процессов, обеспечивающее условное достижение коллективного оптимума (критерия эффективности) при наличии конкретных ограничений.

**Коллективное действие транспортного поведения.** Под **коллективным действием** транспортного поведения мы будем понимать результат взаимодействия транспортного спроса и транспортного предложения, возникший в определенный момент времени (система с дискретным временем) в итоге принятия решений множеством индивидов о вариантах перемещений. Этот результат выражается в распределении количества поездок (перемещений), совершенных различными транспортными подсистемами (включая пешеходную), входящими в ТСИП.

Для того чтобы иметь устойчивую транспортную систему города (области, агломерации и т.д.), необходимо уметь управлять этой системой как с точки зрения формирования, так и с точки зрения управления коллективным транспортным поведением.

Замкнутая последовательность объектов управления, обеспечивающая единый подход к формированию управляемого транспортного поведения, может иметь вид, представленный на рисунке 1. Коллективное действие проявляется на различных уровнях (объектах управления) ТСИП, например, коллективное транспортное поведение есть обобщенная характеристика конкретной транспортной системы в определенный отрезок времени. Параметры (элементы) транспортной системы влияют на транспортное поведение как совокупность возможностей и ограничений. С другой стороны, принятие решения о поездке зависит от текущего состояния ТС (расписания движения, загрузка УДС, фактические интенсивности транспортных потоков городского пассажирского транспорта общего пользования в определенное время суток) и реализованного в ней транспортного поведения (в виде загрузки УДС, наполненности подвижного состава и т.п.), а совокупность принятых и реализованных поездок формирует транспортный поток и т.д.



Рисунок 1. Замкнутая последовательность объектов управления транспортным поведением в рамках ТСИП  
 Источник: составлено авторами

На рис. 1 между уровнями ТС существуют как непосредственные связи, так и информационное взаимодействие. Данный рисунок должен быть расширен в сторону включения средств и подсистем управления. Для этого необходимо формализовать «транспортное поведение».

Транспортная система индивидуальных пере-

мещений – функциональное описание ТС как многокомпонентной неоднородной открытой системы, в которой происходит множество решений о поездке и соответствующее множество транспортных процессов, обеспечивающих достижение критерия эффективности (рис. 2).

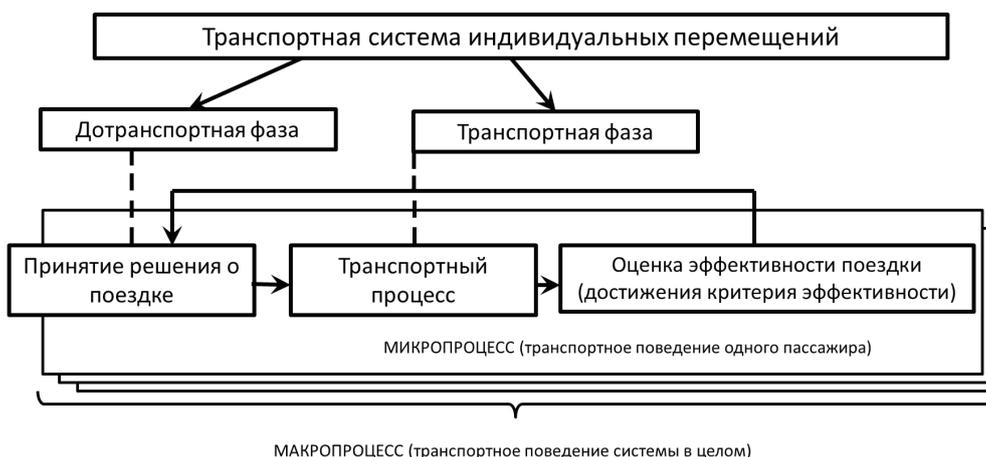


Рисунок 2. Применение теории макросистем в рамках ТСИП  
 Источник: составлено авторами

В наиболее общем случае транспортная система может быть выражена в виде совокупности уравне-

ний, в соответствии с работой [3]:

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

где

- $\tilde{\Gamma}$  – граф УДС;
- $\rho$  – матрица транспортных связей;
- $q$  – действующие провозные (пропускные) способности;
- $t$  – непрерывное время;
- $v_f = N_a$  – наибольший индекс автомобиля, соответствующий количеству транспортных средств в данный момент времени;
- $V_\alpha$  – общее число маршрутов (корреспонденций);
- $v$  – индекс автомобиля (его постоянный идентификатор);
- $n_v$  – булева переменная, которая определяется соотношением (2);
- $\rho_\alpha$  –  $\alpha$ -й маршрут;
- $\pi_v(t)$  – уравнение транспортного процесса для  $v$ -го автомобиля;
- $P(t)$  – вектор уравнений транспортного процесса;
- $\beta$  – индекс транспортного процесса;
- $G$  – 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.

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

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

Представленная система содержит равновесное решение  $V^*(\Delta\tau_k)$ , 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  $G(t)$  и максимизацию информационной энтропии  $H(V^*(\Delta\tau_k))$  на том же отрезке времени. Используется гипотеза о достижимости равновесия на интервале  $\Delta\tau_k$ .

Данная система предполагает необходимость выбора конкретной схемы заполнения элементов (множеств  $V(t)$ ) по состояниям, которые выражаются множеством

$$P = \{p_1, \dots, p_\alpha, \dots, p\}. \quad (3)$$

В теории макросистем существует несколько способов заполнения состояний [7], а для данного случая считаем наиболее предпочтительной схему Эйнштейна-Бозе.

Информационная энтропия для статистики Эйнштейна-Бозе выглядит следующим образом:

$$H(V) = - \sum_{n=1}^m V_n \ln \frac{V_n}{a_n} - (G_n + V_n) \ln(G_n + V_n), \quad (4)$$

где

- $\alpha_n$  – априорные вероятности нахождения элемента в состоянии  $n$ ;
- $G_n$  – емкость состояния  $n$ ;
- $n$  – порядковый номер состояния элементов;
- $m$  – общее число различных состояний.

В качестве ресурса могут быть рассмотрены время, материальные затраты, расход топлива, денежных средств и т.п. Расходы ресурсов могут быть линейными и нелинейными (см. подробнее [7]). В данном случае использовалось представление о линейном расходовании ресурсов.

Уравнения транспортного процесса представляют собой зависимости для текущей степени завершенности поездки в момент времени  $l$

$$\tau_0 + \sum_{k=1}^l \Delta\tau \leq \tau < \tau_0 + \sum_{k=1}^{l+1} \Delta\tau \quad (5)$$

и выглядят в виде неубывающей функции с областью значений от 0 до 1.

Покажем, каким образом в данной системе представляется понятие «транспортное поведение». В формулах (1) используются следующие компоненты ТС: 1) маршруты; 2) транспортные средства; 3) ресурсы; 4) характеристики транспортного процесса, т.е. интенсивности транспортных операций.

Все перечисленное представляет собой область заполнения (возможных состояний) для участников движения, которые образуют, после принятия индивидуальных решений о поездке, макропроцесс (см. рис. 3).

Представленная система (1) отображает транспортную фазу макропроцесса на  $\Delta\tau_k$ , при этом на следующем отрезке времени на транспортной сети появляются новые участники дорожного движения в соответствии с интенсивностью работы источников транспорта, отображающих принятие решений о поездке на этапах  $t < \tau_0 + \sum_{k=1}^l \Delta\tau$ .

Одним из наиболее сложных вопросов для каждой конкретной макросистемы является выяснение вида «преобразователя», который способствует переходу макросистемы к детерминированному поведению (рис. 4). Будем предполагать, что в системе происходят процессы перемешивания и взаимодействия траекторий, в результате чего может быть достигнуто состояние равновесия в системе, следовательно, реализуется детерминированный вариант поведения на макроуровне. Обобщая подобное предположение, можно допустить, что система способна совершать более сложные виды движений, такие как устойчивые предельные ци-

клы (автоколебания), а также осуществлять переходы к детерминированному хаосу, но уже на об- щесистемном уровне при небольшом количестве степеней свободы.

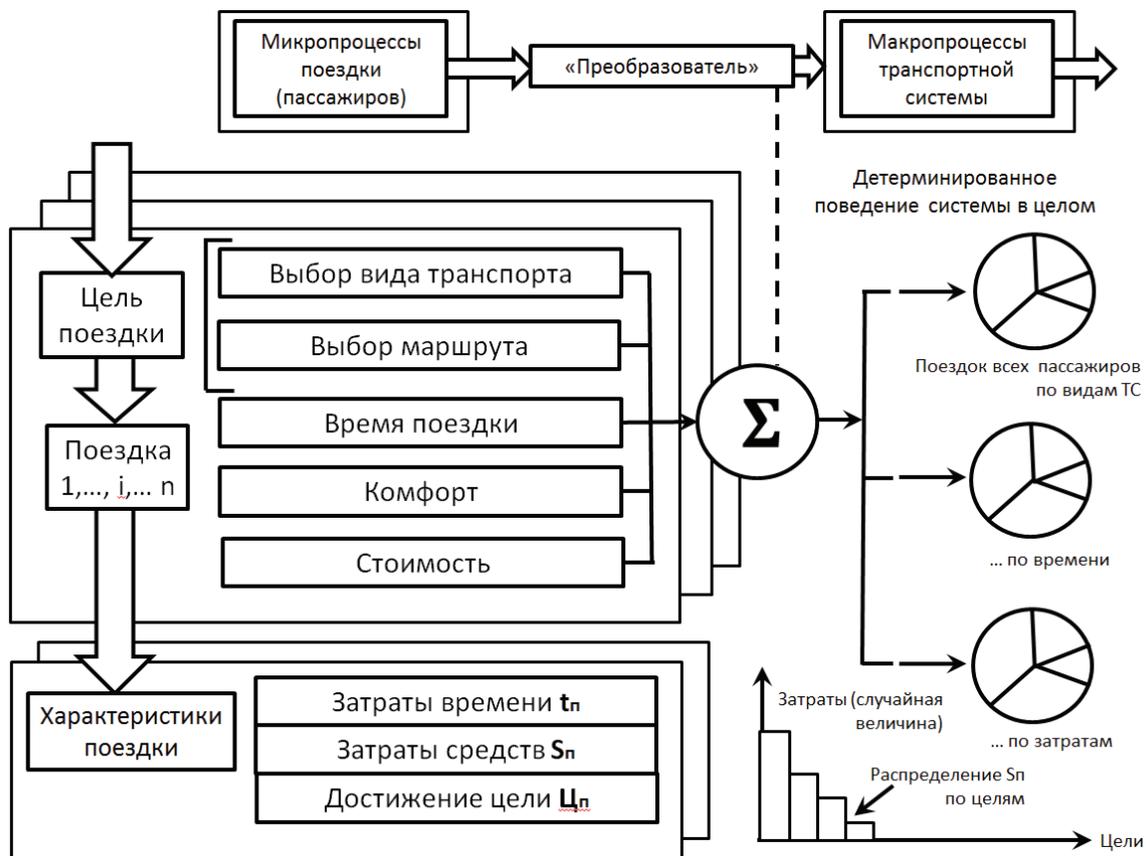


Рисунок 3. Применение теории макросистем в рамках ТСИП  
 Источник: составлено авторами

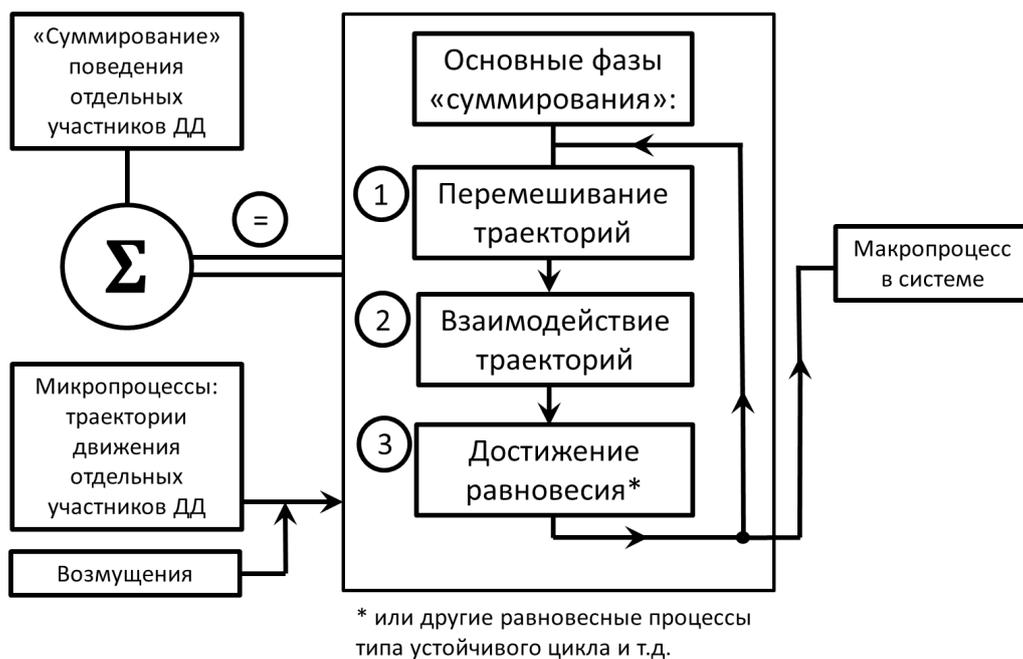


Рисунок 4. Возможное содержание «преобразователя» для транспортной макросистемы  
 Источник: составлено авторами

Основным фактором, который отражает условия выбора для транспортных средств (участников движения) тех или иных корреспонденций является ограничение (6)

$$G^* = \{g_1^*, \dots, g_\beta^*, \dots, g_{v_f}^*\}, \quad (6)$$

а также неявно указанные цели поездок. Таким образом, реализация транспортного поведения  $\beta$ -ого участника движения выражается парой  $\{C_\beta^*, g_\beta^*\}$ , где

$C_\beta^*$  – обобщенная цена поездки (соответствующая неявно заданной цели);

$g_\beta^*$  – максимальное ограничение на расход ресурсов. Выбор поведения определяется соотношением между предполагаемой величиной  $C_\beta^*$  и  $g_\beta^*$ .

### Междисциплинарное описание транспортного поведения

Представляется возможным составить предварительный список тех научных направлений, которые необходимо привлекать в настоящее время для развития теории транспортного поведения. К таким дисциплинам, прежде всего, следует отнести: 1) общую теорию транспортных систем; 2) теорию макросистем; 3) теорию активных частиц, как раздел статистической физики; 4) нелинейную динамику; 5) теорию пассажирских перевозок; 6) теорию выбора и принятия решений; 7) теорию самоорганизации (синергетику); 8) теорию массового обслуживания.

Такой выбор обусловлен, прежде всего, тем, что перечисленные дисциплины с различных сторон изучают потоки событий, взаимодействия множеств элементов, формирование детерминированного поведения совокупностей стохастически действующих элементов, с одной стороны, и образование пространственно-временных структур, с другой, нелинейные явления в активных средах и т.д., то есть все то, что присуще реальным ТС.

При этом многие базовые понятия, такие как транспортное средство, транспортное предложение, **поездка** становятся *ресурсами*, которые могут быть и/или должны быть ограничены, в соответствии с принятыми критериями эффективности.

Формирование детерминированного поведения совокупностей стохастически действующих элементов, использование понятия «ресурс» как обобщенного свойства ТС, создающего потребность и возможность для индивидуальных перемещений, – эти и другие подходы используются в теории макросистем, которая занимает центральное положение в приведенном списке. Основной задачей в теории макросистем считается поиск равновесного состояния ТС или траекторий дви-

жения к нему (неравновесные поведения), которые могут представлять из себя достаточно сложные множества.

Междисциплинарный подход к проблеме ТП находит подтверждение и в работе [15], где рассматривается мнение, что глубокое понимание человеческой природы имеет важное значение для планирования, проектирования и оперативного анализа транспортных систем. Авторы указывают на перспективы развития транспортных систем в интеграции с такими областями знаний и дисциплин, как экономика, системная динамика, поведенческая география, психология, искусственный интеллект и искусственная жизнь.

### Обсуждение и заключение

Конечной целью, которую преследуют авторы данной работы, является построение теории транспортного поведения с разработкой ее математического аппарата и описанием необходимых систем управления объектами «пассажир – транспортное средство – УДС», созданием инструментов поддержки принятия решений.

В ходе выполнения работы был произведен анализ литературы по теме транспортного поведения населения, дано авторское определение ТП. 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, имеет общий вид, требует расширения и дополнения. Данная задача – предмет для будущих работ и исследований авторов. Однако очевидно, что построение таких моделей на основе теории макросистем, при том, что любая транспортная система многокомпонентная, неоднородная и открытая, 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 пространственных 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.

---

---

### Литература

1. Агуреев И. Е. Техника, технологии, ресурсы: приоритетные направления развития и практические разработки / И. Е. Агуреев, М. Н. Белицкая, Е. В. Бенза, С. М. Бенза [и др.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://scipro.ru/conf/monograph\\_engineering.pdf](http://scipro.ru/conf/monograph_engineering.pdf). (дата обращения: 01.10.2020).
2. Агуреев И. Е. Вопросы управления городскими транспортными системами / И. Е. Агуреев, В. А. Пышный, Л. Е. Куценко // Современные социально-экономические процессы: Проблемы, закономерности, перспективы. – Пенза, 2017. – С. 72–94.
3. Агуреев И. Е. Развитие теории макросистем как необходимое условие повышения качества транспортного моделирования // Мир транспорта. – Москва, 2020. – № 2 (Том 18), – С. 6–20.
4. Корягин М. Е. Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов. – Новосибирск: Наука, 2011. – 140 с.
5. Мулеев Е. Ю. «Транспортное поведение», «Подвижность», и «Мобильность»: К вопросу о концептуальности терминов // Социологический журнал. – 2015. – № 3 (Том 21). – С. 8–28.
6. 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.
7. Попков Ю. С. Теория макросистем: Равновесные модели / Ю. С. Попков. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 320 с.
8. Разработка интеллектуальной транспортно-экологической системы и выбор оптимальных параметров ее функционирования / Ю. Н. Ризаева, С. А. Ляпин, А. С. Сысоев, Д. А. Кадасев [и др.] // Материалы 4-ой Международной научно-практической конференции. (15–16 мая 2018 г.). – Орел, 2019. – С. 13–20.
9. Рассоха В. И. Ситуационное управление автотранспортными системами. Часть 3. Идентификация систем городского пассажирского транспорта и дорожного движения // Вестник Оренбургского государственного университета, 2010. – № 1, январь. – С. 143–150.
10. Ресин В. Н., Попков Ю. С. Развитие больших городов в условиях переходной экономики. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 328 с.
11. Савельева В. Ю. Факторы формирования транспортного поведения в крупнейших городах России // Градостроительство. – 2018. – № 5 (57). – С. 54–62.
12. Трегубов В. Н., Морозов Э. В. Мультиагентное моделирование транспортного поведения пассажиров на основе институционального подхода // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право. 2017. Т. 17, вып. 2. С. 197–204.
13. Третьяк Л. Н. Новые подходы по совершенствованию методов экологического мониторинга автотранспортных потоков / Л. Н. Третьяк, Е. В. Бондаренко, А. С. Вольнов // Информационные технологии и инновации на транспорте: (Орел, 19–20 мая 2015 г.). – Орел, 2015. – С. 221–231.
14. Экологические аспекты функционирования автомобильного транспорта в условиях промышленного города / Е. В. Бондаренко, А. А. Филиппов, И. Ф. Сулейманов, Р. С. Фаскиев [и др.] // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сб. ст. XIII Междунар. науч.-практ. конф. – Оренбург, 2017. – С. 32–36.
15. Traveler Behavior and Values Chairman: Konstadinos G. Goulias Traveler Behavior and Values Research for Human-Centered Transportation Systems. Available at: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/millennium/00136.pdf> / (accessed 24.11.2020).
16. Eriksson L. (2008) Pro-environmental Behavior: The Importance of Attitudinal Factors. Habits, and Transport Policy Measures. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/242268184> / (accessed 03.12.2020).
17. Q. W. Xu (2008) Analysis and Modeling of Individual Passenger Behavior in Urban Subway Hub Platform. Available at: <https://www.preprints.org/manuscript/201609.0085/v2> / (accessed 17.11.2020).
18. 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 // Journal of Advanced Transportation, Vol. 5, 2018, pp. 1-13. Available at: <https://doi.org/10.1155/2018/3859830> / (accessed 09.09.2020).
19. Wang D, & Law, F. Y. T. (2007) Impacts of Information and Communication Technologies (ICT) on time use and travel behavior: a structural equations analysis. Transportation, Vol. 34 (4), pp. 513–527.

### References

1. Agureev, I. E. (2018) [Technique, technologies, resources: priority directions of development and practical developments]. Available at: [http://scipro.ru/conf/monograph\\_engineering.pdf](http://scipro.ru/conf/monograph_engineering.pdf). / (accessed: 01.10.2020). (In Russ.).

2. Agureev, I. E. (2017) [Questions of management of urban transport systems]. *Sovremennye social'no-ekonomicheskie processy: Problemy, zakonomernosti, perspektivy* [Modern socio-economic processes: Problems, regularities, prospects]. Penza, pp. 72–94. (In Russ.).
3. Agureev, I. E. (2020) [Development of the theory of macrosystems as a necessary condition for improving the quality of transport modeling]. *Mir transporta* [The world of transport]. Moscow. Vol. 2 (18), pp. 6–20. (In Russ.).
4. Koryagin, M. E. (2011) *Ravnovesnye modeli sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta v usloviyah konflikta interesov* [Equilibrium models of the urban passenger transport system in the context of a conflict of interests]. Novosibirsk: Science, 140 p (In Russ.).
5. Muleyev, E. Y. (2015) [«Transport behavior», «Mobility», and « Mobility»: To the question of the conceptuality of terms]. *Sociologicheskij zhurnal* [Sociological journal]. Vol. 3 (21), pp. 8–28. (In Russ.).
6. Muleyev, E. Y. (2015) [Transport behavior of the population of Russia: brief report on sociological research]. *Institut ekonomiki transporta i transportnoj politiki NIU VShE* [Institute of transport Economics and transport policy of the Higher school of Economics]. 37 p. (In Russ.).
7. Popkov, Yu. S. (1999) *Teoriya makrosistem: Ravnovesnye modeli* [Macrosystem theory: Equilibrium models]. Moscow: Editorial URSS, 320 p. (In Russ.).
8. Rizaeva, Y. N. (2019) [Development of an intelligent transport and ecological system and the choice of optimal parameters of its functioning]. *Materialy 4-oy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. (15–16 maya 2018 g.)*. [Materials of the 4th International scientific and practical conference. (May 15-16, 2018)]. Orel, pp. 13–20. (In Russ.).
9. Rassokha, V. I. (2010) [Situational management of motor vehicle systems. Part 3. Identification of urban passenger transport and road traffic systems]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg state University]. Vol. 1, pp. 143–150. (In Russ.).
10. Resin, V. N. (2000) *Razvitie bol'shikh gorodov v usloviyah perekhodnoj ekonomiki* [Development of large cities in the conditions of transition economy]. Moscow: Editorial URSS, 328 p. (In Russ.).
11. Savelyeva, V. Y. (2018) [Factors of formation of transport behavior in the largest cities of Russia]. *Gradostroitel'stvo* [Urban planning]. Vol. 5 (57), pp. 54–62. (In Russ.).
12. Tregubov, V. N., Morozov, E. V. (2017) [Multi-agent modeling of passenger transport behavior based on an institutional approach]. *Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Ekonomika. Upravlenie. Pravo.* [Publ. house of Sarat. un-ty. Nov. ser. Ser. Economy. Management. Right.]. Vol. 17 (2), pp. 197–204. (In Russ.).
13. Tretyak, L. N. (2015) [New approaches to improving the methods of environmental monitoring of motor transport flows]. *Informacionnye tekhnologii i innovacii na transporte: 19-20 maya, 2015* [Information technologies and innovations in transport: (May 19-20, 2015)]. Orel, pp. 221–231. (In Russ.).
14. Bondarenko, E. V. (2017) [Environmental aspects of operation of road transport in the conditions of industrial city]. *Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemah : sb. st. XIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (15–17 noyab. 2017 g.)* [Progressive technologies in transport systems : collection of articles of the XIII Intern. scientific.-pract. Conf. (Nov. 15–17, 2017)]. Orenburg, pp. 32–36 (In Russ.).
15. Traveler Behavior and Values Chairman: Konstadinos G. Goulias Traveler Behavior and Values Research for Human-Centered Transportation Systems. Available at: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/millennium/00136.pdf/> (accessed 24.11.2020) (In Russ.).
16. Eriksson, L. (2008) Pro-environmental Behavior: The Importance of Attitudinal Factors. Habits, and Transport Policy Measures. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/242268184> / (accessed 03.12.2020). (In Engl.).
17. Q. W. Xu (2008) Analysis and Modeling of Individual Passenger Behavior in Urban Subway Hub Platform. Available at: <https://www.preprints.org/manuscript/201609.0085/v2> / (accessed 17.11.2020). (In Engl.).
18. 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. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 5, 2018, pp. 1-13. Available at: <https://doi.org/10.1155/2018/3859830> / (accessed 09.09.2020). (In Engl.).
19. Wang D, & Law, F. Y. T. (2007) Impacts of Information and Communication Technologies (ICT) on time use and travel behavior: a structural equations analysis. *Transportation*, Vol. 34 (4), pp. 513–527. ). (In Engl.).

#### Информация об авторах:

**Игорь Евгеньевич Агуреев**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобилей и автомобильного хозяйства, Тульский государственный университет, Тула, Россия  
e-mail: [agureev-igor@yandex.ru](mailto:agureev-igor@yandex.ru)

**Андрей Владимирович Ахромешин**, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, Тульский государственный университет, Тула, Россия  
e-mail: aakhromeshin@yandex.ru

Статья поступила в редакцию: 23.12.2020; принята в печать: 13.04.2021.  
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Information about the authors:**

**Igor Evgenievich Agureev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of automobiles and automobile industry, Tula State University, Tula, Russia  
e-mail: agureev-igor@yandex.ru

**Andrey Vladimirovich Akhromeshin**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of automobiles and automobile industry, Tula State University, Tula, Russia  
e-mail: aakhromeshin@yandex.ru

The paper was submitted: 23.12.2020.  
Accepted for publication: 13.04.2021.  
The authors have read and approved the final manuscript.