

ТРАНСПОРТ

Обзорная статья
УДК 519.6: 656.13: 537.8

<https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-4-57>

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ ПОВЕДЕНИЕМ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ. ПАТТЕРНЫ ПОВЕДЕНИЯ, МЕТОДЫ ИХ РАСПОЗНАВАНИЯ

И. Е. Агуреев¹, А. В. Ахромешин²

Тульский государственный университет, Тула, Россия

¹ e-mail: agureev-igor@yandex.ru

² e-mail: aakhromeshin@yandex.ru

Аннотация. В настоящей работе рассматриваются вопросы изучения систем поддержки принятия решений о совершении поездок пассажирами с точки зрения выделения паттернов такого поведения, их классификация и кластеризация. Приведен обзор литературы отечественных и зарубежных авторов, касающийся анализов паттернов транспортного поведения населения и их распознавания. Обоснована актуальность изучения транспортного поведения населения при помощи теории паттернов. Сформирован подход описания паттернов поведения с точки зрения теории макросистем. Указаны примеры мобильных приложений для планирования маршрутов, современные модели исследования транспортного поведения на основе технологий BigData, нейронных сетей, теории парсинга. Решена задача формализации описания транспортного поведения с целью получения инструмента для анализа влияния управляющих воздействий на транспортное поведение. Сделан вывод о необходимости обобщенного представления транспортного поведения, а, следовательно, и его паттерна, в виде логических моделей.

Цель исследования заключается в составлении обобщенного представления транспортного поведения и его паттернов в рамках теории макросистем путем составления цифрового паттерна, который может быть отображен в виде совокупности графических схем и в виде последующего логического описания.

Полученные результаты состоят в детальном обзоре литературы по тематике систем поддержки принятия решений при совершении поездки, определению паттернов поведения пассажиров, влияния поведения индивида на поведение всей транспортной системы в целом. Разработан инструментарий определения паттернов на основе теории макросистем. Выполнен анализ различных использованных исследователями методов обработки данных и визуализации результатов, что дополнительно служит для определения возможностей качественного и количественного описания транспортного поведения. При этом были определены множества состояний элементов транспортной системы, конкретные измеряемые и/или вычисляемые величины, их отношение к микро- или макроуровням описания транспортной системы. Определено, что наиболее удобным и всесторонним инструментом для представления и изучения паттернов является теория транспортных макросистем.

Ключевые слова: транспортное поведение, транспортная система, транспортная мобильность, поведение человека, поездка, паттерн.

Для цитирования: Агуреев И. Е., Ахромешин А. В. Системы управления транспортным поведением населения городских агломераций. Паттерны поведения, методы их распознавания // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 4. – С. 57–75. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-4-57>.

Review article

SYSTEMS FOR MANAGING THE TRANSPORT BEHAVIOR OF THE POPULATION OF URBAN AGGLOMERATIONS. PATTERNS OF BEHAVIOR, METHODS OF THEIR RECOGNITION

I. E. Agureev¹, A. V. Akhromeshin²

Tula State University, Tula, Russia

¹ e-mail: agureev-igor@yandex.ru

² e-mail: aakhromeshin@yandex.ru

Abstract. This paper examines the issues of studying decision support systems for passenger travel in terms of identifying patterns of such behavior, their classification and clustering. A review of the literature of domestic and foreign authors concerning the analysis of patterns of transport behavior of the population and their recognition is given. The relevance of studying the transport behavior of the population using the theory of patterns is substantiated. An approach to describing patterns of behavior from the point of view of the theory of macrosystems has been formed. Examples of mobile applications for route planning, modern models for studying transport behavior based on BigData technologies, neural networks, and parsing theory are given. The problem of formalizing the description of transport behavior has been solved in order to obtain a tool for analyzing the influence of control actions on transport behavior. The conclusion is made about the need for a generalized representation of transport behavior, and, consequently, its pattern, in the form of logical models.

The purpose of the study is to compile a generalized representation of transport behavior and its patterns within the framework of the theory of macrosystems by compiling a digital pattern that can be displayed as a set of graphical schemes and as a subsequent logical description.

The results obtained consist in a detailed review of the literature on the topic of decision support systems when making a trip, determining patterns of passenger behavior, and the influence of individual behavior on the behavior of the entire transport system as a whole. A toolkit for determining patterns based on the theory of macrosystems has been developed. The analysis of various methods of data processing and visualization of results used by researchers is carried out, which additionally serves to determine the possibilities of qualitative and quantitative description of transport behavior. At the same time, the set of states of the elements of the transport system, specific measurable and/or calculated values, their relation to the micro- or macro-levels of the description of the transport system were determined. It is determined that the most convenient and comprehensive tool for representing and studying patterns is the theory of transport macrosystems.

Key words: transport behavior, transport system, transport mobility, human behavior, trip, pattern.

Cite as: Agureev, I. E., Akhromeshin, A. V. (2024) [Systems for managing the transport behavior of the population of urban agglomerations. Patterns of behavior, methods of their recognition]. *Intellect. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 4, pp. 57–75. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-4-57>.

Введение

Развитие транспортных систем в России и в мире идет быстрыми темпами, причем оно связано не только с новыми видами и типами транспорта, инфраструктурными изменениями (количество и качество дорог, дорожная инфраструктура и т. д.). Меняются все составляющие транспортного процесса. Вместе с этим, меняется и потребитель, то есть пассажир, водитель – участник транспортного процесса. Широкое распространение в последнее время получили цифровые «помощники»: мобильные приложения, электронные табло, системы передачи и хранения данных об улично-дорожной сети города, центры мониторинга и безопасности дорожного движения и т. д. В работе [3] подробно описаны сервисы, помогающие пассажиру выбирать маршруты передви-

жений и виды транспорта. Системы управления или поддержания принятия решений о поездке меняют транспортное поведение конкретного пассажира и транспортную систему в целом. Зачастую эти изменения имеют качественный характер для всей транспортной системы городской агломерации.

Еще одним подтверждением этого факта являются выводы, сделанные в работе [21]: «Парадигма городского развития в 2000-х сменилась с «города для автомобилей» на простую, на первый взгляд, парадигму «город для людей». Экстенсивное развитие транспортных систем мегаполисов за счет строительства новых дорог становится неэффективным, так как увеличение количества личных автомобилей опережает темпы дорожного строительства».

Данные изменения приводят к широкому внедре-

нию в городах, так называемых систем управления, или иначе говоря, поддержки принятия решений о совершении поездок. Такие системы могут носить директивный или «мягкий» характер, иметь множество вариаций в зависимости от конкретного города, а также уровня развития общества в плане использования современных мобильных приложений для смартфонов (уровень цифровизации).

Таким образом, становится актуальной задача формализации описания транспортного поведения с целью получения инструмента для анализа влияния управляющих воздействий на транспортное поведение.

Обзор литературы

Задача описания понятия транспортного поведения довольно сложная. Обзор иностранных источников по исследованию данного вопроса представлен авторами в работе [4]. В отечественной литературе за последние несколько лет появились статьи про так называемое «транспортное поведение», т. е. системы помощи в выборе маршрутов следования, выбора вида транспорта. Обзор источников представлен ниже.

Авторы работы [6] приходят к выводу, что общественное мнение о безопасности отдельных видов транспортных средств коррелируется с данными статистики о безопасности при правильно выбранной методике статистического исследования. В работе [11] предлагается решение задачи создания методологических основ интеллектуальной поддержки социально-ориентированных решений участников транспортного процесса, используя такие технологии, как интеллектуальная поддержка принятия решений, самоорганизация сетей сервисов, управление на основе социальных систем, киберфизические и социокиберфизические системы, web-сообщества, предлагается использование элементов теории планируемого поведения и организационного поведения.

В публикациях [8; 9] авторами разработана модель и методы поддержки принятия решений, основанных на обработке больших данных о транспортном поведении пассажиров в городской транспортной системе, рассмотрены критерии выбора пассажиром вида транспортных средств для передвижения, описаны кластеры пассажиров и особенности поведения, присущие каждому из них, особенности модели генерации пассажиропотока на остановках транспорта общего пользования.

Кроме того, можно отметить статьи [5; 7], в которых рассмотрены подходы к изучению транспортного поведения с позиций теории парсинга, предложена программа для поддержки принятия решений

по планированию маршрута движения в городской среде для пользователя на основе данных о его предыдущих поездках, которая адаптируется к транспортному поведению пользователя для мобильных устройств.

В работе [12] представлен образ «типичного» пассажира, пользующегося услугами городского транспорта общего пользования. Принятие решения о поездке, по мнению авторов, лежит в трех плоскостях: экономическая, психологическая, социологическая модели поведения, причем «в разные моменты времени под воздействием меняющихся условий внешней среды поочередно доминирует каждая из них».

В публикации [13] выполнено описание динамики поведения пассажиров в процессе выбора способа перемещения и установление связанных с этим закономерностей формирования спроса на пассажирские перевозки.

К наиболее значимым публикациям в иностранных источниках можно отнести следующие: в работе [26] описаны связи в поведении людей с развитием транспортной инфраструктуры и центрами массового тяготения (торговые и офисные центры, другие места массового скопления людей). Предложено использование гибридного подхода к моделированию транспортных систем на микро-, мезо- и макроуровнях. Моделирование в микромасштабе требует больших объемов данных, а модели мезоуровня лишены деталей, что порождает потребность в объединении моделей трафика на разных уровнях (таблица 1).

В публикации [17] рассматривается мобильное приложение по выбору маршрутов для поездок. Выделены соотношения количества поездок по различным целям (работа, дом, школа, поручения, развлечения и т. д.) (см. рисунок 1); изменение количества поездок в зависимости от времени суток (см. рисунок 2). Все поездки собраны в 8 кластеров (графов) (см. рисунок 3). С точки зрения принятия решений, ключевой задачей системы убеждения в поведении в путешествиях является изменение выбора людей между вариантами по умолчанию и устойчивыми вариантами. Авторы приходят к выводу, что для того, чтобы менять поведение пассажиров, необходимо вмешиваться и своевременно предоставлять информацию, влияя на поведение отдельных пользователей. Есть перспективы предоставления уникальной индивидуальной информации для каждого пользователя для принятия решения о поездке на основе ранее собранных данных именно этого пользователя.

Таблица 1. Сводная таблица подходов к моделированию транспортного поведения

✓ означает, что обычно применяется; (✓) означает применение в некоторых случаях								
		системная динамика	дискретное моделирование	непрерывное моделирование	модель Монте-Карло	микро-моделирование	сотовые автоматы	агентное моделирование
Способ моделирования	Снизу вверх				✓	✓	✓	✓
	Сверху вниз	✓	✓	✓				
Состояния системы	Стохастические				✓	✓	(✓)	✓
	Детерминированные	✓	✓	✓			✓	(✓)
	Динамические	✓	✓	✓		✓	✓	✓
	Статические		✓		✓	✓		✓
Пространственный масштаб	Микромасштаб		✓	✓		✓	✓	✓
	Макромасштаб	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Переменные	Независимые				✓	✓		✓
	Зависимые	✓	✓	✓				
	Деагрегированные				✓	✓	✓	✓
	Агрегированные	✓	✓	✓				

Источник: заимствовано из работы [26]

	Работа	Дом	Школа	Деловые поручения	Посадка/Высадка	Развлечения	Другое	Итого
Работа	75%	1%	8%	6%	0%	4%	6%	186%
Дом	4%	86%	0%	2%	0%	3%	4%	250%
Школа	19%	0%	57%	14%	0%	5%	5%	21%
Деловые поручения	13%	3%	1%	64%	6%	10%	3%	128%
Посадка/Высадка	5%	2%	0%	33%	43%	2%	14%	42%
Развлечения	6%	5%	1%	7%	0%	73%	9%	88%
Другое	6%	0%	0%	6%	0%	8%	80%	85%
Итого	186%	250%	21%	128%	42%	88%	85%	

Рисунок 1. Матрица распределения поездок по типам (целям)

Источник: заимствовано из работы [17]

Авторы работы [15] анализируют траектории паттернов поведения пассажиров как набора действий с такими специфическими характеристиками, как время начала, продолжительность и последовательность перемещений (см. рисунок 4). При этом дается ответ на вопрос: как на основе генерации траектории моде-

лей активности сделать выводы о влиянии поведения отдельных лиц на поведение населения в целом? Цепочки действий, выполняемых в течение дня, взаимосвязаны таким образом, что участие в одном действии и время, отведенное на это конкретное действие, соответственно влияют на поведение пассажира

в течение дня. Методология, представленная в этой статье, может быть применена для синтеза цепочек действий и их пространственно-временного распределения. Методика генерации траекторий движения сводится к следующему алгоритму:

– кластеризация шаблонов активности в небольшой набор репрезентативных шаблонов

с использованием алгоритмов передачи сообщений; – фиксация корреляции между демографическими профилями путешественников с наборами выполненных действий и их соответствующей временной последовательностью с использованием многомерных пробит-моделей.

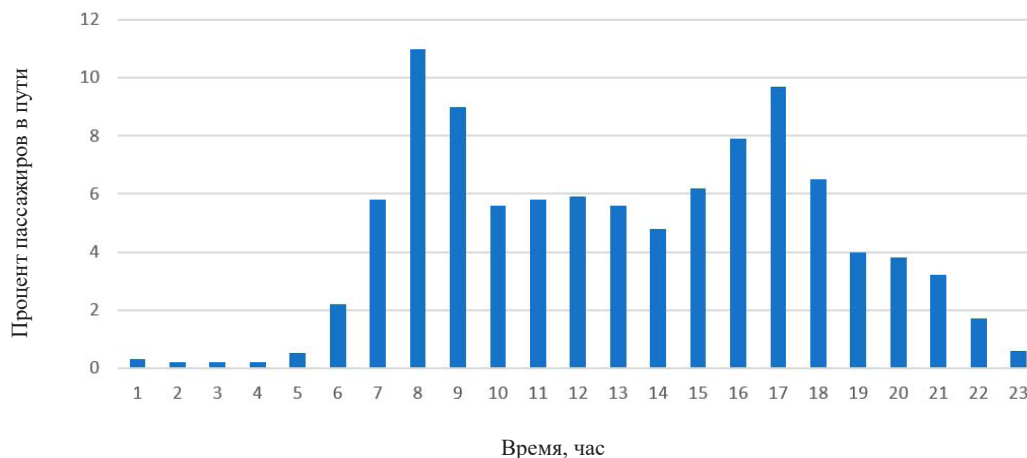


Рисунок 2. Процентное распределение пассажиров по времени отправления в течение суток
Источник: заимствовано из работы [17]

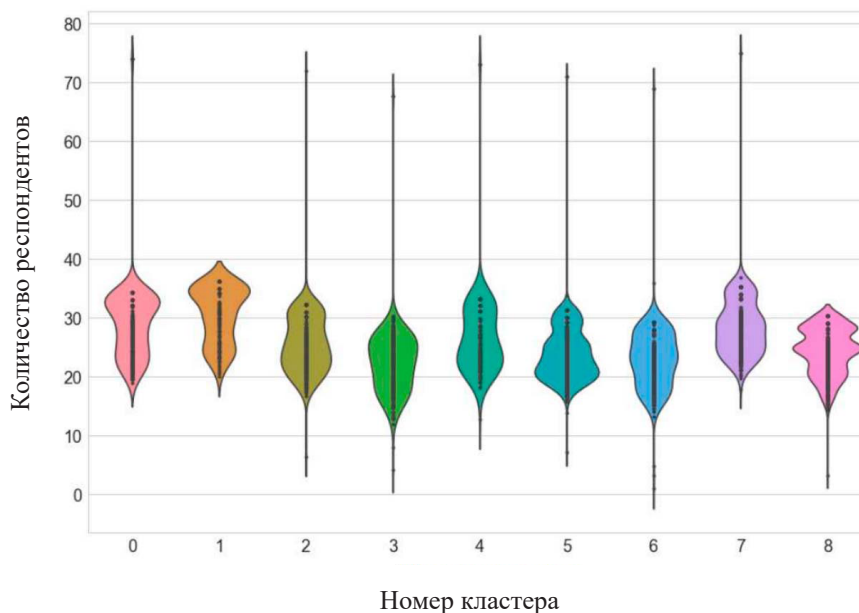


Рисунок 3. Кластеры образа поведения пассажиров
Источник: заимствовано из работы [17]

№ кластера	Время суток, час.																								
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23						
1	Д	Д	Т	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Т	Д	Д	Д
2	Д	Д	Т	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	Т	Д	Д	Д
3	Д	Д	Т	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П	Т	Д	Д	Д	Д
4	Д	Д	Т	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Т	Д	Д	Д	Д
5	Д	Д	Т	К	К	К	К	К	Т	С	С	С	С	Т	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
6	Д	Д	Т	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	К	Т	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
7	Д	Д	Т	С	С	С	С	Т	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
8	Д	Д	Т	С	С	С	С	Т	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
9	Д	Д	Т	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Ш	Т	Д	Д	Д	Д
10	Д	Д	Т	В	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
11	Д	Д	Т	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Т	Д	Д	Д	Д
12	Д	Д	Т	К	К	К	К	К	Т	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д

Рисунок 4. Репрезентативные паттерны активности пассажиров
 Источник: заимствовано из работы [15]

На рисунке 4 обозначены: Д – нахождение дома; Т – перемещения на транспорте; Р – работа; К – культурно-бытовые перемещения; П – прочие перемещения; Ш – нахождение в образовательных учреждениях (в школе); С – случайные покупки; В – высадки и посадка пассажиров.

Рассмотрим работу [14]: данная статья позволяет использовать подход (методику) для выявления подмножеств состояний для заполнения их элементами, то есть репрезентативные модели деятельнос-

ти (активности), классифицированные по кластерам (см. рисунок 5). Вероятно, что данный метод (использование матриц соответствия и вычисление коэффициентов совпадения Жаккарда) может быть распространен и на другие ситуации. Необходимо выявить наличие альтернативных подходов для формирования подмножеств состояний. Нейронная сеть используется для кластеризации, то есть окончательного выявления подмножеств состояний.

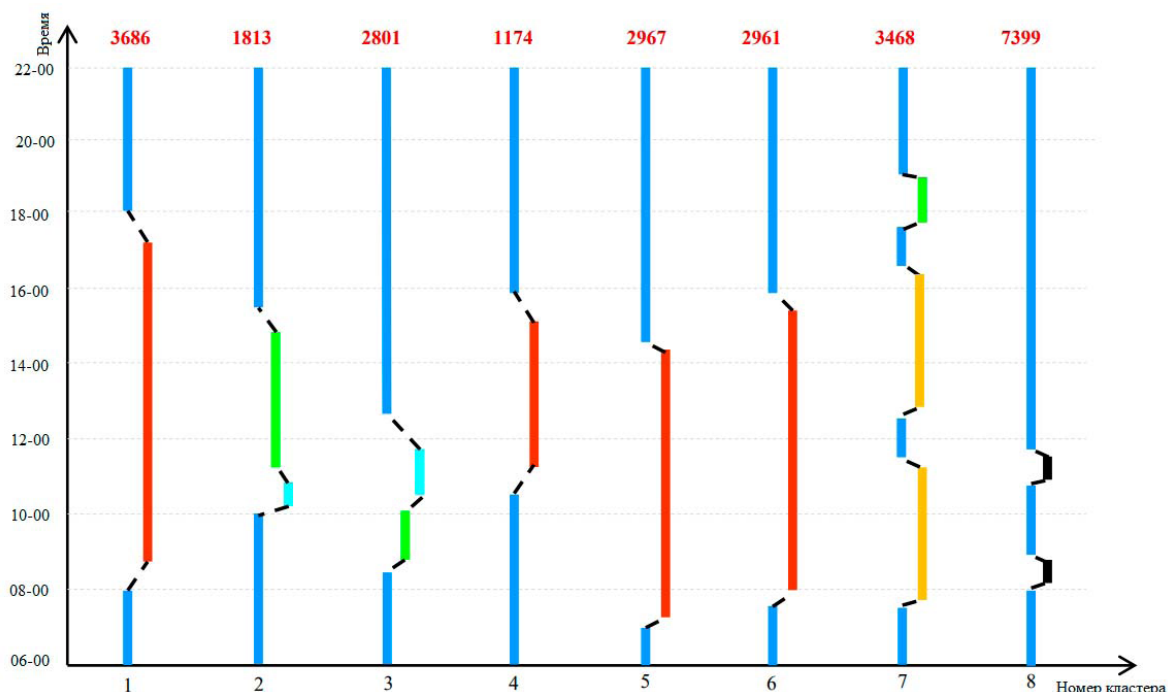


Рисунок 5. Репрезентативные модели деятельности (активности), классифицированные по 8 кластерам
 Источник: заимствовано из работы [14]

В работе [18] выполнен анализ изменения индивидуального поведения в поездках на городском транспорте общего пользования на основе данных smart-карт, используемых для оплаты проезда с точки зрения поиска закономерностей в том, как люди меняют свою мобильность, и измерение адаптивности пользователей к изменениям в обслуживании транспорта. Выделяется три группы пассажиров в зависимости от изменчивости транспортного поведения.

В статье [25] представлены результаты исследования городской интеллектуальной транспортной системы, поддерживаемой технологией «Интернета вещей» (Internet of Things), которая может реализовать динамическое планирование оптимального маршрута, помочь людям улучшить свои навыки вождения при высокой безопасности и интеллектуализации и значительно избежать ряда проблем, вызванных заторами. Эксперимент показывает, что интеллектуальная транспортная система, основанная на данной технологии, может эффективно уменьшать загруженность городского транспорта и обеспечивать более удобные и быстрые маршруты передвижения.

В работе [16] рассмотрено изучение влияния, визуального информирования пассажира при принятии решения о маршруте поездки при помощи мобильного приложения «Служба рекомендаций маршрутов», в котором пользователю предлагается на выбор несколько вариантов маршрутов следования, исходя из его личных предпочтений, настроенных в приложении. Набор содержит как унимодальные, так и мультимодальные варианты достижения пункта назначения.

Работа [19] интересна тем, что в ней разобраны так называемые «шаблоны поведения», такие как время в пути, периодичность поездок, стационарность поездок, классификация поездок по дням недели и т. д.

Статья [20] посвящена исследованию сравнения двух моделей выбора типов поездок: мультиномиальной логистической регрессии и искусственной нейронной сети. Цель работы данных моделей – прогнозирование поведенческих последствий выбора типа транспорта (общественный, личный) и цепочек перемещений людей. Показано, что модель искусственной нейронной сети обладает способностью точно предсказывать выбор режима поездок по сравнению с мультиномиальной логит-моделью.

В работе [23] представлен анализ траектории перемещений пассажиров на основе данных встроенных датчиков смартфонов и датчиков транспорта, а также других вспомогательных источников (дата-центров). Собранные данные обрабатываются при помощи нейронной сети. Установлено, что нейронные сети, машинное обучение и технологии BigData позволяют существенно расширить возможности прогнозиро-

вания загрузки улично-дорожной сети и оптимизировать перемещения пассажиров по времени суток и дням недели.

В статье [24] исследуется проблема обнаружения паттернов и аномалий в данных об индивидуальном поведении в поездке. Общая цель состоит в том, чтобы эффективно обрабатывать большие объемы сложных пространственно-временных данных. Используется двумерная модель для воспроизведения сложного поведения в поездке на основе линейной комбинации значимых паттернов в пространственных и временных измерениях. Реализуется алгоритм свернутой выборки Гиббса для вывода данных модели, затем определяется степень аномалии поведения индивида как «непредсказуемость» его будущей деятельности в рамках обученной модели. Методика, представленная авторами, позволяет выделять типичные паттерны поведения людей и аномалии в транспортном поведении. Данная методика может быть применена для оптимизации маршрутов движения транспорта общего пользования.

Работа [22] посвящена методам количественного анализа сложного поведения в поездках в форме индивидуальных моделей активности. Представленные методы следует рассматривать как инструменты для описания и объяснения сложных цепочек перемещений. Теоретические модели паттерн-реакций исследуют модели поведения 7 групп на основе социально-экономических и демографических факторов (пол, возраст, занятость, вид домохозяйства и т. д.). Методология анализа моделей поездок следующая: 1) цепочка перемещений, определяющих движение человека, представлена вектором модели; 2) методы преобразования применяются к векторам шаблонов для разработки таксономии для пространства шаблонов; 3) инверсия преобразованных паттернов дает репрезентативные паттерны активности, которые могут быть связаны с социально-экономическими характеристиками и городской формой; 4) применение метода распознавания образов для описания сложных моделей поездки преобразуется в структурно более простое пространство для целей планирования и анализа этих поездок (цепочек перемещений).

Анализ источников, обсуждение

Анализ литературы по теме «паттерны транспортного поведения» и «распознавание образов транспортного поведения» убедительно показывает актуальность указанной тематики и приводит к следующим выводам:

1) большинство работ опирается на специфические понятия «транспортного поведения», используя самые различные средства для отображения паттер-

нов; так в публикациях [8; 9; 14; 15; 17] используется кластерный анализ для представления классификации транспортных систем, потоков и типов пассажиров, в работах [16; 25] основным предметом исследования для отображения паттернов является выбор маршрута следования пассажиров, а в других публикациях используются так называемые, «шаблоны поведения» пассажиров с обработкой больших массивов информации различными методами и информированием людей об оптимальных цепочках перемещений [19; 20; 23–24];

2) в подавляющем большинстве статей явно или неявно подразумевается коллективный характер формирования транспортного поведения: случайные, с точки зрения транспортной системы, действия одного индивида объединяются с действиями множества участников дорожного движения и приводят к формированию паттерна поведения;

3) в большинстве работ, посвященных изучению транспортного поведения и представлению паттернов, можно выделить некоторые множества и подмножества состояний, которые используются различными элементами транспортных систем для их заполнения. Так в работах [5; 7–9; 13–15; 17; 26] рассмотрены E-системы, а в статье [18] можно выделить такие состояния как F- и P-системы, которые занимают участники дорожного движения;

4) говоря о паттернах поведения, часто подразумевают динамический характер данного понятия, что требуется учитывать в исследованиях; при этом, могут выделяться несколько характерных масштабов времени: а) $\tau \sim 1 * 10^0$ сек; б) $\tau \sim 1 * 10^2$ сек; в) $\tau \sim 1 * 10^4$ сек; очевидно, что на каждом масштабе времени транспортные системы должны рассматриваться либо как равновесные, стационарные, либо как неравновесные, динамические объекты;

5) таким образом, существует проблема, которая заключается в необходимости обобщенного представления транспортного поведения, а, следовательно, и его паттерна, в виде логических моделей.

Все вышеприведенные работы могут быть рассмотрены с точки зрения вышеприведенной схемы, т. к. в каждой из них рассмотрены такие понятия как траектории перемещений индивидуумов, обработка больших массивов сложных данных для выявления паттернов поведения индивидов и отклонений от нормального поведения. Таким образом, можно констатировать, что схема выявления паттернов может быть применена при исследовании транспортного поведения населения.

В большинстве работ отечественных ученых в области транспортных систем переход от поведения одного элемента к поведению системы представляется

в виде формирования статистических сумм. При этом формирующиеся статистики совершенно не учитывают механизмы заполнения состояний, что является источником потерь информации при углублении теоретического описания. Правильным выходом при этом является использование подходов теории макросистем [10].

Сведем всю информацию, полученную в ходе анализа источников, в единую таблицу (таблица 2).

Основной вывод, который мы делаем из вышесказанного, заключается в том, что для обобщенного представления транспортного поведения и их паттернов требуется некоторый инструментарий в рамках теории транспортных макросистем. Этот инструментарий разрабатывается последовательно в работах [1; 2; 4] и заключается в следующем:

- транспортная система представляется в виде макросистемы, действующей в масштабе, выбранном для определенного интервала времени, задаются подмножества состояний, находятся априорные вероятности для элементов системы, а также выбирается способ заполнения элементами подмножеств;

- разрабатывается численный алгоритм решения задачи, который позволяет «увидеть» (то есть, рассчитать и представить в графическом виде) числа заполнения элементов транспортной системы по подмножествам состояний;

- совокупность результатов решений нескольких задач, выполненных на одном и том же временном масштабе, представляет собой цифровой паттерн, который может быть отображен в виде совокупности графических схем и в виде последующего логического описания.

Графически представленное описание может быть представлено на рисунке 6.

В данном алгоритме важными критериями будут эффективность поиска, то есть точное и полное определение паттернов (возможный критерий эффективности – процент найденных паттернов из общего количества); быстрота поиска, то есть продуктивность, отношение потраченных ресурсов к достигнутым результатам (критерии оценки – время поиска); удобство для восприятия полученных результатов, их достоверность и полнота отображения информации.

Так как настоящая работа носит обзорный характер, не будем останавливаться на практическом применении паттернов поведения в транспортной науке и их математическом описании. Данные вопросы будут рассмотрены во второй части работы.

Рассмотрим обобщенную транспортную систему, состоящую из множества состояний ее элементов: множество имеет свои подмножества состояний и емкости их заполнения (см. рисунок 7). С точки

Таблица 2. Обзор видов и способов заполнения возможных состояний в транспортных макросистемах пассажирами (элемент макросистемы – «пассажир»)

Номер источника литературы	Ключевые слова	Подмножества состояний пассажира	Заполнение состояний	Дополнительная информация	Способ дальнейшего использования
8,9	Кластеризация пассажиров	Пассажирские остановки	Число пассажиров на остановках. Способ заполнения – E-система	Указывает пассажиропотоки между остановками назначения	Кластеризация пассажиров может использоваться при описании классификации транспортных систем
5,7	Планирование маршрута	Пригородные и/или междугородные маршруты	Число поездок (по населенным пунктам). Способ заполнения – E-система	Используется теория парсинга	В статье указаны операции использования данных о предыдущих поездках до- и после-транспортная фазы ТСИП
12	Типичный пассажир, экономическая модель поведения, психологическая модель поведения, социологическая модель поведения	Поездки различного типа	Пассажиры распределяются по числу поездок. Способ заполнения – E-система	1) Распределение поездок по дальности. 2) То же, по числу пересадок.	Возможно, при описании математической модели ТСИП, в части триггеров принятия решений (модель поведения – триггер)
13	Выбор типа транспортного средства	Типы транспортных средств (систем)	Пассажиры распределяются по типу транспортной системы в зависимости: 1) от числа пересадок; 2) от уровня комфорта. Способ заполнения – E-система	1. Имеются ли описания ограничений? 2. Имеется ли расчет критериев?	Для расчета априорных вероятностей По сути, указаны механизмы формирования и описания спроса при выборе типа транспортного средства
26	Центр массового тяготения, транспортная система микро-, мезо-, макро-уровни, моделирование	Различные подмножества соответствующие объектам среды, инфраструктура, объединенных в рамках поведения людей	Пассажиры распределяются по центрам массового тяготения. Способ заполнения – E-система	Концептуальная модель связывает между собой проектирование транспортной политики, общественного пространства, человеческого поведения, здоровья с транспортными системами	Важным источником является таблица 3, где перечислены не только уровни, но и методы моделирования и их применимость. Моделируется в рамках различных парадигм в зависимости от размерности модели (системы)

Продолжение таблицы 2

Номер источника литературы	Ключевые слова	Подмножества состояний пассажира	Заполнение состояний	Дополнительная информация	Способ дальнейшего использования
17	Распределение поездов по целям	Цели поездов	Пассажиры распределяются по целям поездов: 1) в зависимости от выбора между вариантами по умолчанию и устойчивыми вариантами. 2) влияние на поведение оказывает за счет своевременного информирования пользователей, в том числе на основе ранее собранных данных о поездках этого пользователя. Способ заполнения – E-система	Все поездки собраны в пять кластеров	Разработать собственные системы подачи графической информации Требуется описать переменные для каждого графического изображения и увязать все типы рисунков в связанные последовательности
15	Цепочки действий, пространственно-временное распределение	Цепочки действий	Пассажиры распределяются по кластерам цепочек поездов в соответствии с траекторией паттерна поведения. Способ заполнения – E-система	Методика генерации траекторий движения: – кластеризация в небольшой набор шаблов активности; – установление корреляции между демографическим профилем пассажира и его набором выполненных действий. Влияние отдельных индивидов выражается в формировании поведения населения в целом.	1) Для расчета априорных вероятностей нахождения пассажира во временном интервале суток в определенном состоянии активности. 2) Для сравнения результатов расчетов 3) Источник исходных данных для моделирования
14	Распознавание паттернов модель, основанная на представлении последовательности поездов	Последовательности поездов (цепочки действий)	То же, что и в работе [15]. Выявляется на основе опросов и построения моделей «активностей»	1) Методика основана на использовании дневника активности, который служит для кластеризации паттернов. 2) В каждом кластере изучается зависимость между социально-демографическими характеристиками людей и набором действий в течение дня. 3) На основе классификации «тезисов» в повестке дня определяется набор действий. 4) Выполняется планирование действий, проверка прогноза	1) Переход от 4-шаговой модели к модели типа «последовательность поездов». 2) Цели Маркова

Продолжение таблицы 2

Номер источника литературы	Ключевые слова	Подмножества состояний пассажира	Заполнение состояний	Дополнительная информация	Способ дальнейшего использования
18	Smart-card; мобильность населения; изменчивость транспортного поведения	Временные интервалы (окна) Транспортная активность (мобильность)	Поездки пассажиров распределяются по временным интервалам (окнам). Экспериментально исследуется на основе данных о транзакциях. Для одного пассажира способ заполнения – F-система или P-система	1) Исследуется сходство между соседними и иными парами окон. 2) Тепловая карта дает портрет (паттерн) мобильности.	1) Данные могут использоваться для вывода формул априорных вероятностей нахождения пассажира в поездке в выбранном временном окне. 2) Источник данных для моделирования.
25		Маршруты	Пассажиры распределяются по маршрутам. Способ заполнения E-система, но выбор состояния «не случается», зависит от информативности пассажиров.	Эффект в системе появляется в зависимости от скорости обработки информации о событиях с помощью периферийных вычислений ИТС	1) Для расчета априорных вероятностей в тех случаях, когда нужно учесть информативность пассажиров 2) Для оценки эффективности ИТС
16		Маршруты	То же, что и в работе [25]	Рассмотрено изучение влияния визуального информирования пассажира при помощи мобильного приложения «Служба рекомендаций маршрутов», в котором предлагается на выбор несколько вариантов маршрутов следования, исходя из личных предпочтений, настроенных в приложении.	То же, что и в работе [25]
19		Сложный паттерн	Пассажиры распределяются по паттернам (шаблонам) поведения. Способ заполнения – E-система.	Рассмотрены так называемые «шаблоны поведения», такие как время в пути, периодичность поездов, стационарность поездов, классификация поездов по дням недели и т.д.	Для формирования возможного вида паттерна. Паттерн в данном случае отличается комплексным содержанием и наиболее близко подходит к разработанной авторами настоящей статьи концепции ТСИП [1] Требуется расширение паттерна в соответствии с разработанной структурой состояний пассажиров.

Продолжение таблицы 2

Номер источника литературы	Ключевые слова	Подмножества состояний пассажира	Заполнение состояний	Дополнительная информация	Способ дальнейшего использования
20		Паттерн «вид транспорта + цепочка перемещений»	То же, что и в работе [19]	Исследованы две модели прогнозирования выбора типов поездов: мультиномиальная логистическая регрессия и искусственная нейронная сеть. Цель – прогнозирование поведенческих последствий выбора типа транспорта (общественный, личный) и цепочек перемещений людей.	Использование нейронных сетей для идентификации паттернов
23		Паттерн «вид транспорта + цепочка перемещений»	То же, что и в работе [19]	Анализ траектории перемещений пассажиров выполнен на основе данных встроенных датчиков смартфонов и датчиков транспорта, а также других вспомогательных источников (датасетов). Собранные данные обрабатываются при помощи нейронной сети.	Нейронные сети, машинное обучение и технологии BigData позволяют существенно расширить возможности прогнозирования загрузки улично-дорожной сети и оптимизировать перемещения пассажиров по времени суток и дням недели.
24		Пространственно-временной паттерн	То же, что и в работе [19]	Исследуется проблема обнаружения паттернов и аномалий в данных об индивидуальном поведении в поездке. Общая цель состоит в том, чтобы эффективно обрабатывать большие объемы сложных пространственно-временных данных. Используется двумерная модель для воспроизведения сложного поведения в поездке на основе линейной комбинации значимых паттернов в пространственных и временных измерениях. Реализуется алгоритм свернутой выборки Гиббса для вывода данных модели, затем определяется степень аномалии поведения индивида как «непредсказуемость» его будущей деятельности в рамках обученной модели.	Разработка типичных паттернов поведения пассажиров и аномалий паттернов в транспортном поведении. Данная методика может быть применена для оптимизации маршрутов движения транспорта общего пользования.

Продолжение таблицы 2

Номер источника литературы	Ключевые слова	Подмножества состояний пассажира	Заполнение состояний	Дополнительная информация	Способ дальнейшего использования
22		Сложный паттерн	То же, что и в работе [19]	<p>Рассмотрены методы количественного анализа сложного поведения в поездках в форме индивидуальных моделей активности. (сложных цепочек перемещений). Модели паттерн-реакций исследуют поведение 7-ми групп на основе социально-экономических и демографических факторов (пол, возраст, занятость, вид домохозяйства и т.д.).</p>	<p>Методология анализа моделей поездок следующая: 1) цепочка перемещений, определяющих движение человека, представлена вектором модели; 2) методы преобразования применяются к векторам шаблонов для разработки таксономии для пространства шаблонов; 3) инверсия преобразованных паттернов дает репрезентативные паттерны активности, которые могут быть связаны с социально-экономическими характеристиками и городской структурой; 4) применение метода распознавания образов для описания сложных моделей поездки преобразуется в структурно более простое пространство для целей планирования и анализа этих поездок (цепочек перемещений). Эта методология полностью соответствует введенной ранее ТСИП [1]</p>

Источник: разработано авторами

зрения описания паттернов транспортного поведения нас будут интересовать следующие показатели макросистемы:

- общее количество неразличимых элементов системы;
- как эти элементы распределяются по системе (т. е. как они распределены по подмножествам состояний);
- каковы емкости состояний каждого подмножества;

- каковы типы состояний элементов подмножеств. Различают следующие типы состояний: *F*-макросистема (ферми-состояния) – в состоянии может быть только 1 и 0 элементов; *P*-макросистема (парасостояния) – в состоянии может быть фиксированное количество s элементов; *E*-макросистема (эйнштейн-состояния) – когда емкость состояния неограниченное количество элементов; *B*-макросистема (больцман-состояния) – «в среднем» содержит малое количество элементов.

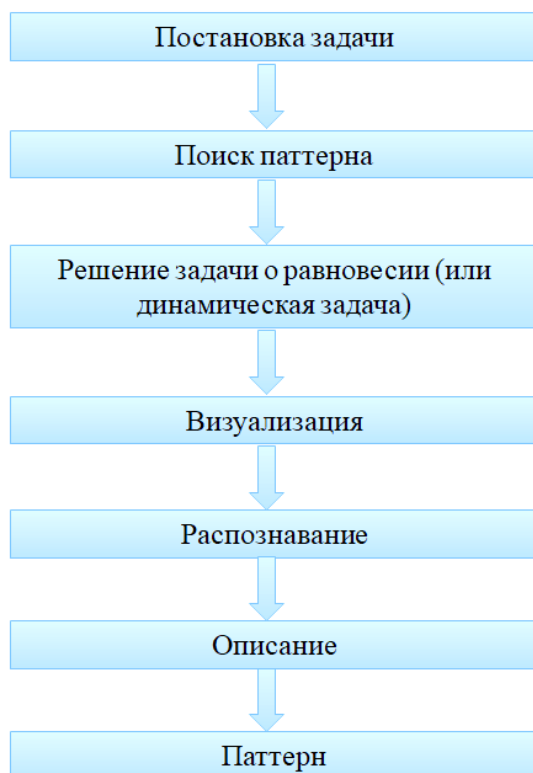


Рисунок 6. Алгоритм поиска паттерна
Источник: разработано авторами

На рисунке 7 обозначено: $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n$ – подмножества состояний; $G_1, G_2, \dots, G_i, \dots, G_n$ – емкости подмножеств состояний.

На основе представленной информации рассчитывается ансамбль микросостояний системы, который характеризуется функцией распределения вероятностей и функцией энтропии системы.

Таким образом, результаты выполненного анализа говорят о том, что многочисленные задачи, связанные с транспортным поведением, вполне укладываются в теоретические схемы теории транспортных макросистем. При этом сам паттерн поведения становится новым, сложным вариантом множества состояний. Это заключение является основной научной новизной материала,

обобщенного на основе обзора статей [19; 20; 22–24].

Выводы

В работе приведен обзор литературы по тематике систем поддержки принятия решений при совершении поездки, определению паттернов поведения пассажиров, влияния поведения индивида на поведение всей транспортной системы в целом. Разработан инструментарий определения паттернов на основе теории макросистем. Представлена схема для поиска паттернов транспортного поведения.

Выполнен анализ различных использованных исследователями методов обработки данных и визуализации результатов, что дополнительно служит для

определения возможностей качественного и количественного описания транспортного поведения. При этом были определены множества состояний элементов транспортной системы, конкретные измеряемые и/или вычисляемые величины, их отношение к микро-

или макроуровням описания транспортной системы. Определено, что наиболее удобным и всесторонним инструментом для представления и изучения паттернов является теория транспортных макросистем.

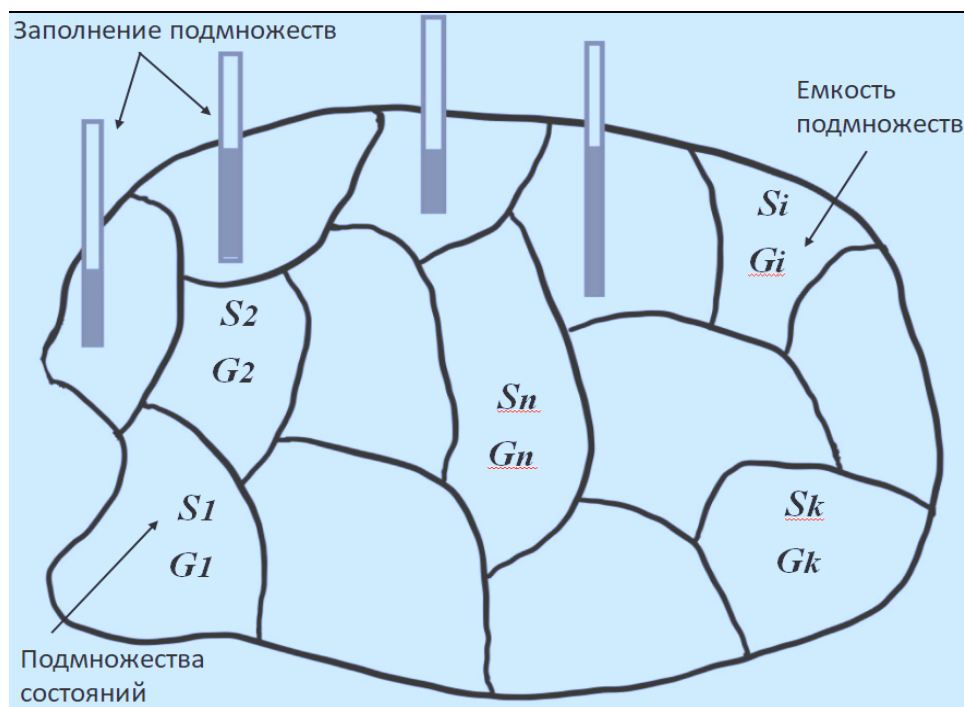


Рисунок 7. Графическое изображение заполнения подмножеств состояний элементов в обобщенной транспортной макросистеме

Источник: разработано авторами

Авторы полагают, что исследования транспортного поведения должны проводиться в масштабах транспортной системы агломерации, так как именно на этом уровне реализуется большинство из всех целей поездок, осуществляемых с использованием всех городских, пригородных и межмуниципальных транспортных систем. Таким образом, именно в таких масштабах следует ожидать наличие полного множества паттернов поведения. Это допущение тем более обоснованно для последних лет, когда стало заметно стремление все больших групп населения к проживанию за пределами городских территорий, но макси-

мально близко к крупным населенным пунктам.

Основной вывод, который можно сделать на основе проведенных исследований – тематика исследования транспортного поведения населения актуальна среди отечественных и зарубежных исследований, носит глубокий характер и требует изучения и дополнения. Авторы работы считают, что подход с позиций теории макросистем является новым, до этого не применяемым к изучению поведения индивидов и групп людей и внесет свой вклад в общее развитие современной научной мысли на транспорте.

Литература

1. Агуреев И. Е., Ахромешин А. В. К вопросу разработки модели транспортной системы индивидуальных перемещений с управлением // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 4–2(79). – С. 49–57. – [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-2\(79\)-4-49-57](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-49-57). – EDN: MTTORV.
2. Агуреев И. Е., Ахромешин А. В. Математическая модель транспортного поведения на основе

теории транспортных макросистем // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19. – №. 6 (97). – С. 13–18. – <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-2>. – EDN: MCXWKF.

3. Агуреев И. Е., Ахромешин А. В. Обзор сервисов для обеспечения транспортной подвижности населения // Информационные технологии в управлении, и автоматизации и мехатронике. – 2022. – С. 22–27. – EDN: GNNXIB.

4. Агуреев И. Е., Ахромешин А. В. Обоснование выбора теоретического аппарата для описания транспортного поведения жителей города (мегаполиса) // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18. – №. 6 (82). – С. 746–758. – <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-746-758>. – EDN: KPSSET.

5. Воробьева О. В., Манжула Е. А., Яшина А. В. Умный горожанин в умном городе: обзор подходов в России и за рубежом // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7, № 5. – С. 59–65. – EDN: VDERYG.

6. Загурская С. Г., Дружинин В. П. Экономика туризма: влияние безопасности на критерии выбора вида транспортного средства пассажирами // Бизнес и дизайн ревю. – 2016. – Т. 1, № 4 (4). – С. 3. – EDN: XENMOX.

7. Ие О. Н. Возможности парсинга для получения данных о транспортном поведении пассажиров // Актуальные вопросы современной экономики. – 2021. – № 7. – С. 329–339. – <https://doi.org/10.34755/IROK.2021.38.45.003>. – EDN: HKLPLE.

8. Огар Т. П. Модель и методы поддержки принятия решений в задачах управления городским пассажирским общественным транспортом // Математические методы в технологиях и технике. – 2022. – № 7. – С. 85–88. – https://doi.org/10.52348/2712-8873_MMTT_2022_7_85. – EDN: TGQHYP.

9. Огар Т. П., Крушель Е. Г., Степанченко И. В. Построение модели генерации пассажиропотока с учетом различий в поведении пассажиров разных возрастных групп // Тенденции развития логистики и управления цепями поставок в условиях цифровой экономики: материалы II международной научно-практической конференции, проводимой в рамках Международного форума Kazan Digital Week 2021 и посвященной 80-летию академика РАН В. П. Мешалкина. Казань, 2021. – С. 191–196. – EDN: FPKUXJ.

10. Попков Ю. С. Теория макросистем. – М.: УРСС, 1999. – 320 с.

11. Шилов Н. Г., Ермолаев В. И. Методологические основы интеллектуальной поддержки социально-ориентированных решений в гибких транспортных системах // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2016. – № 3 (64). – С. 59–72. – <https://doi.org/10.17212/1814-1196-2016-3-59-72>. – EDN: WWTLWD.

12. Яковенко Е. А. Анализ потенциала рынка городских пассажирских перевозок посредством изучения структуры и особенностей поведения пассажиров // Организация и безопасность дорожного движения: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Тюмень, 15 марта 2013 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2013. – С. 206–211. – EDN: SYZDNB.

13. Яковенко Е. А. О возможностях изучения динамики поведения пассажиров городского пассажирского общественного транспорта в процессе выбора способа перемещения // Нефть и газ Западной Сибири: Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Тюменского индустриального института. Том 4. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2013. – С. 100–105. – EDN: SFTPTD.

14. Allahviranloo M. (2016) Pattern Recognition and Personal Travel Behavior, *Transportation Research Board 95th Annual Meeting*. No. 16–3970. (In Eng.).

15. Allahviranloo M., Regue R., Recker W. (2017) Modeling the activity profiles of a population, *Transportmetrica B: Transport Dynamics*. – Vol. 5. – No. 4. – pp. 426–449. (In Eng.).

16. Anagnostopoulou E. et al. (2020) From mobility patterns to behavioural change: Leveraging travel behaviour and personality profiles to nudge for sustainable transportation. *J. Intell. Inf. Syst.*, Vol. 54. No. 1, pp. 157–178. – <https://doi.org/10.1007/s10844-018-0528-1> (In Eng.).

17. Arian A. (2018) Exploring Travel Behavior Change Opportunities Through a Spatial-Temporal Dimensioned Persuasion Framework: diss. – The University of Arizona, 2018. (In Eng.).

18. Espinoza C. et al. (2018) Assessing the public transport travel behavior consistency from smart card data. *Transp. Res. Procedia*, Vol. 32, pp. 44–53. (In Eng.).

19. Foell S. et al. (2013) Mining temporal patterns of transport behavior for predicting future transport usage, in *Proc. Conf. Ubiquitous Comput.*, pp. 1239–1248. – <https://doi.org/10.1145/2494091.2497354> (In Eng.).

20. Hussain H. D. et al. (2017) Analysis of Transportation Mode Choice Using a Comparison of Artificial Neural

Network and Multinomial Logit Models. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 12, No. 5, pp. 1483–1493. (In Eng.).

21. Pishchikova O. (2021) Management in the Model of Transport Behavior of Metropolis Residents Using the Concept of «Mobility as a Service», *SHS Web of Conferences. EDP Sciences*, Vol. 93. No. 57. p. 04014. – <https://doi.org/10.1051/shsconf/20219304014> (In Eng.).

22. Recker W. (1985) Travel/activity analysis: Pattern recognition, classification and interpretation. *Transportation Research Part A: General*. Vol. 19, No. 4, pp. 279–296. (In Eng.).

23. Servizi V. et al. (2021). Transport behavior-mining from smartphones: a review. *European Transport Research Review*, Vol. 13, No. 57. –<https://doi.org/10.1186/s12544-021-00516-z>. (In Eng.).

24. Sun L. et al. (2021) Routine pattern discovery and anomaly detection in individual travel behavior, *Networks and Spatial Economics*. Vol. 23, No. 1 pp. 1–15. – <https://doi.org/10.1007/s11067-021-09542-9> (In Eng.).

25. Wang D., Xu W., Jia X. (2022) Analysis of Intelligent Transportation System Application Based on Internet of Things and Big Data Technology under the Background of Information Society. *Advances in Multimedia*. No. 105, pp. 1–11. – <https://doi.org/10.1155/2022/6001355> (In Eng.).

26. Yang L. et al. (2019) Integrated design of transport infrastructure and public spaces considering human behavior: A review of state-of-the-art methods and tools, *Frontiers of Architectural Research*, Vol. 8, No. 4. pp. 429–453. –<https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.08.003>. (In Eng.).

References

1. Agureev, I. E., Akhromeshin, A. V. (2022) [On the issue of developing a model of a transport system for individual movements with control]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* [World of transport and technological machines]. Vol. 4–2(79), pp. 49–57. – [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-2\(79\)-4-49-57](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-49-57). – EDN: MTTORB. (In Russ.).

2. Agureev, I. E., Akhromeshin, A. V. (2021) [Mathematical model of transport behavior based on the theory of transport macrosystems]. *Mir transporta* [World of Transport]. Vol. 19. No. 6 (97), pp. 13–18. – <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-2>. – EDN: MCXWKF. (In Russ.).

3. Agureev, I. E., Akhromeshin, A. V. (2022) [Review of services to ensure transport mobility of the population]. *Informatsionnyye tekhnologii v upravlenii, i avtomatizatsii i mekhatronike* [Information technologies in management, automation and mechatronics]. pp. 22–27. – EDN: GNNXIB. (In Russ.).

4. Agureev, I. E., Akhromeshin, A. V. (2021) [Justification for the choice of theoretical apparatus for describing the transport behavior of city (metropolis) residents]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University]. Vol. 18. No. 6 (82), pp. 746–758. – <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-746-758>. – EDN: KPSSET. (In Russ.).

5. Vorobyova, O. V., Manzhuva, E. A., Yashina, A. V. (2019) [Smart citizen in a smart city: a review of approaches in Russia and abroad]. *International Journal of Open Information Technologies* [International Journal of Open Information Technologies]. Vol. 7, No. 5, pp. 59–65. – EDN: VDERYG. (In Russ.).

6. Zagurskaya, S. G., Druzhinin, V. P. (2016) [Tourism economics: the influence of safety on the criteria for choosing the type of vehicle by passengers]. *Biznes i dizayn revyu* [Business and design review]. Vol. 1, No. 4 (4), pp. 3. – EDN: XENMOX. (In Russ.).

7. Ie, O. N. (2021) [Parsing capabilities for obtaining data on the transport behavior of passengers]. *Aktual'nyye voprosy sovremennoy ekonomiki* [Current issues of modern economics]. Vol. 7, pp. 329–339. – <https://doi.org/10.34755/IROK.2021.38.45.003>. – EDN: HKLPLE. (In Russ.).

8. Ogar, T. P. (2022) [Model and methods for supporting decision-making in problems of managing urban passenger public transport]. *Matematicheskiye metody v tekhnologiyakh i tekhnike* [Mathematical methods in technologies and engineering]. Vol. 7, pp. 85–88. – https://doi.org/10.52348/2712-8873_MMTT_2022_7_85. – EDN: TGQHYP. (In Russ.).

9. Ogar, T. P., Krushel, E. G., Stepanchenko, I. V. (2021) [Construction of a model for generating passenger traffic taking into account differences in the behavior of passengers of different age groups]. *Tendentsii razvitiya logistiki i upravleniya tsepyami postavok v usloviyakh tsifrovoy ekonomiki: materialy II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, provodimoy v ramkakh Mezhdunarodnogo foruma Kazan Digital Week 2021 i posvyashchennoy 80-letiyu akademika RAN V. P. Meshalkina* [Trends in the development of logistics and supply chain management in the digital economy: materials of the II international scientific -a practical conference held as part of the International Forum Kazan Digital Week 2021 and dedicated to the 80th anniversary of Academician of the Russian Academy of Sciences V. P. Meshalkin]. pp. 191–196. – EDN: FPKUXJ. (In Russ.).

10. Popkov, Yu. S. (1999) *Teoriya makrosistem* [Theory of macrosystems]. M.: URSS, 320 p.

11. Shilov, N. G., Ermolaev, V. I. (2016) [Methodological foundations of intellectual support for socially-oriented solutions in flexible transport systems]. *Nauchnyy vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Scientific Bulletin of the Novosibirsk State Technical University]. Vol. 3 (64), pp. 59–72. – <https://doi.org/10.17212/1814-1196-2016-3-59-72>. – EDN: WWTLWD. (In Russ.).
12. Yakovenko, E. A. (2013) [Analysis of the potential of the urban passenger transportation market by studying the structure and characteristics of passenger behavior]. *Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: materialy VI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Tyumen', 15 marta 2013* [Organization and road safety: materials of the VI All-Russian scientific and practical conference, Tyumen, March 15, 2013]. Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University, pp. 206–211. – EDN: SYZDNB. (In Russ.).
13. Yakovenko, E. A. (2013) [On the possibilities of studying the dynamics of the behavior of passengers of urban passenger public transport in the process of choosing a method of movement]. *Neft' i gaz Zapadnoy Sibiri: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu Tyumenskogo industrial'nogo instituta* [Oil and gas of Western Siberia: Materials of the International scientific and technical conference dedicated to the 50th anniversary of the Tyumen Industrial Institute]. Vol. 4. Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University, pp. 100–105. –EDN: SFTPTD. (In Russ.).
14. Allahviranloo, M. (2016) Pattern Recognition and Personal Travel Behavior. *Transportation Research Board 95th Annual Meeting*. Vol. 16–3970. (In Eng.).
15. Allahviranloo, M., Regue, R., Recker, W. (2017) Modeling the activity profiles of a population. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*. Vol. 5. No. 4, pp. 426–449. (In Eng.).
16. Anagnostopoulou, E. et al. (2020) From mobility patterns to behavioural change: Leveraging travel behaviour and personality profiles to nudge for sustainable transportation. *J. Intell. Inf. Syst.*, Vol. 54. No. 1, pp. 157–178. – <https://doi.org/10.1007/s10844-018-0528-1>. (In Eng.).
17. Arian, A. (2018) Exploring Travel Behavior Change Opportunities Through a Spatial-Temporal Dimensioned Persuasion Framework. *The University of Arizona* (In Eng.).
18. Espinoza, C. et al. (2018) Assessing the public transport travel behavior consistency from smart card data. *Transp. Res. Procedia*. Vol. 32, pp. 44–53. (In Eng.).
19. Foell, S. et al. (2013) Mining temporal patterns of transport behavior for predicting future transport usage. *Proc. Conf. Ubiquitous Comput.*, pp. 1239–1248. – <https://doi.org/10.1145/2494091.2497354>. (In Eng.).
20. Hussain, H. D. et al. (2017) Analysis of Transportation Mode Choice Using a Comparison of Artificial Neural Network and Multinomial Logit Models. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 12, No. 5, pp. 1483–1493. (In Eng.).
21. Pishchikova, O. (2021) Management in the Model of Transport Behavior of Metropolis Residents Using the Concept of “Mobility as a Service”. *SHS Web of Conferences. EDP Sciences*. Vol. 93. No. 57. p. 04014. – <https://doi.org/10.1051/shsconf/20219304014>. (In Eng.).
22. Recker, W. (1985) Travel/activity analysis: Pattern recognition, classification and interpretation. *Transportation Research Part A: General*. Vol. 19, No. 4, pp. 279–296. (In Eng.).
23. Servizi, V. et al. (2021). Transport behavior-mining from smartphones: a review. *European Transport Research Review*, Vol. 13, No. 57. –<https://doi.org/10.1186/s12544-021-00516-z>. (In Eng.).
24. Sun L. et al. (2021) Routine pattern discovery and anomaly detection in individual travel behavior. *Networks and Spatial Economics*. Vol. 23, No. 1 pp. 1–15. – <https://doi.org/10.1007/s11067-021-09542-9> (In Eng.).
25. Wang, D., Xu, W., Jia, X. (2022) Analysis of Intelligent Transportation System Application Based on Internet of Things and Big Data Technology under the Background of Information Society. *Advances in Multimedia*. Vol. 105, pp. 1–11. – <https://doi.org/10.1155/2022/6001355>. (In Eng.).
26. Yang, L. et al. (2019) Integrated design of transport infrastructure and public spaces considering human behavior: A review of state-of-the-art methods and tools. *Frontiers of Architectural Research*. Vol. 8, No. 4. pp. 429–453. –<https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.08.003>. (In Eng.).

Информация об авторах:

Игорь Евгеньевич Агуреев, доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических механизмов и процессов, Тульский государственный университет, Тула, Россия

ORCID ID: 0000-0002-7903-139X, **Author ID:** 15872

e-mail: agureev-igor@yandex.ru

Андрей Владимирович Ахромешин, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических механизмов и процессов, Тульский государственный университет, Тула, Россия

ORCID ID: 0000-0001-8016-9655, **Author ID:** 1187323

e-mail: aakhromeshin@yandex.ru

Вклад соавторов:

Агуреев И. Е. – формулировка задач исследования, научных положений.

Ахромешин А. В. – оформление работы, подбор источников литературы; анализ исследований отечественных и зарубежных авторов в области систем управления и принятия решений при изучении транспортного поведения населения.

Статья поступила в редакцию: 22.02.2024; принята в печать: 27.06.2024.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Igor Evgenievich Agureev, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Technological Mechanisms and Processes, Tula State University, Tula, Russia

ORCID ID: 0000-0002-7903-139X, **Author ID:** 15872

e-mail: agureev-igor@yandex.ru

Andrey Vladimirovich Akhromeshin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Mechanisms and Processes, Tula State University, Tula, Russia

ORCID ID: 0000-0001-8016-9655, **Author ID:** 1187323

e-mail: aakhromeshin@yandex.ru

Contribution of the authors:

Agureev I. E. – formulation of research objectives, scientific provisions.

Akhromeshin A. V. – design of the work, selection of literature sources; analysis of research by domestic and foreign authors in the field of management systems and decision-making in the study of transport behavior of the population.

The paper was submitted: 22.02.2024.

Accepted for publication: 27.06.2024.

The authors have read and approved the final manuscript.