

ПАТТЕРНЫ ТРАНСПОРТНОГО ПОВЕДЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

PATTERNS OF PUBLIC TRANSPORT BEHAVIOUR OF URBAN AGGLOMERATIONS. THEORY AND PRACTICE

Рассматриваются вопросы теории паттернов транспортного поведения населения, систем поддержки принятия решений о совершении поездок пассажирами с точки зрения выявления паттернов поведения, их классификации и кластеризации. Сделан вывод о необходимости обобщенного представления транспортного поведения, а следовательно, и его паттерна, в виде логических моделей или в виде траекторий в соответствующих пространствах. Установлена взаимосвязь теории паттернов с теорией самоорганизованной критичности, синергетики, теорией сложности, а также рассмотрены паттерны как динамика сети параметров состояний элементов транспорта и транспортная система индивидуальных перемещений. Приведена методика изучения и построения паттернов транспортного поведения.

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

This paper examines the issues of studying the theory of patterns of transport behavior of population, decision support systems for passenger travel in terms of identifying patterns of such behavior, their classification and clustering. It is concluded that there is a need for a generalized representation of transport behavior, and, consequently, its pattern, in the form of logical models or in the form of trajectories in the corresponding spaces. There is established an interrelation of pattern theory with the theory of self-organized criticality, synergetics, and complexity theory, and patterns are considered as the dynamics of a network of transport elements' state parameters and a transport system of individual transportations. The methodology of studying and constructing patterns of transport behavior is presented.

Keywords: transport behavior, transport system, passenger, human behavior, trip, pattern.

Введение

Транспортные системы городов, городских агломераций представляют собой большие социотехнические системы, имеющие все признаки *сложности*. Последние годы в транспортной науке отмечены повышенным вниманием к вопросам взаимодействия транспортных систем с внешней средой, обществом, операторами различных городских функций [1]. Организация перевозок

пассажиров требует использования программно-целевых и логистических принципов, методов оптимизации, транспортного планирования и моделирования [2], включаемых в состав информационных технологий. Отдельным предметом исследований в рамках теории транспортных систем становится «транспортное поведение».

До настоящего времени авторами была выполнена работа [3–6] по формулировке

основ теории транспортных макросистем и транспортного поведения. Был сделан поиск в области систем поддержки принятия решений при совершении поездки, исследовались паттерны поведения пассажиров, влияние поведения индивида на поведение транспортной системы в целом. Были определены множества состояний элементов транспортной системы, конкретные измеряемые и/или вычисляемые величины, их отношение к микро- или макроуровню описания транспортной системы.

В настоящей работе, которая является продолжением [6], представлена общая методика выявления и построения паттернов транспортного поведения, обосновывается универсальность анализа транспортных систем с использованием паттернов, дается описание взаимосвязей между некоторыми дисциплинами, демонстрирующими различные подходы к представлению паттернов поведения.

Результаты исследований свидетельствуют, что теоретические схемы теории транспортных макросистем позволяют решать многочисленные задачи, связанные с транспортным поведением. При этом сам паттерн поведения становится новым, комплексным вариантом понятия «элемент множества состояний» в рамках макросистемного подхода [7, 8].

В работе на основе анализа различных известных методов обработки данных и визуализации результатов разработан общий инструментарий, который позволяет с единых позиций оценивать различные аспекты транспортного поведения и служит методической основой для дальнейшего развития этой тематики.

Основные сведения из теории паттернов

Паттерн мы представляем способом отображения не только транспортного поведения, но и сложности самой транспортной системы. Для того чтобы использовать методы теории паттернов [9–12] для описания транспортного поведения, приведем их классификацию.

Основы теории паттернов создал У. Гренандер [9]. По его представлению, паттерн означает *образ, шаблон, модель*. В основе теории образов лежат принципы атомизма (структуры создаются из образующих элементов), комбинаторности (объединение отношений связи с типом соединения), наблюдаемости (возникновение наблюдаемых объектов из регулярных конфигураций), реализма (связь конфигураций с реальными объектами). Гренандер использует объекты четырех видов: 1) «образующие» паттерны, то есть те, которые моделируют относительно простые объекты реального мира и могут соединяться с другими объектами; 2) из образующих путем объединения их в группы конструируются регулярные конфигурации; 3) изображения сходных между собой регулярных конфигураций объединяются в множества с определенным классом эквивалентности; 4) образы, инвариантные относительно преобразований подобия [12].

На рис. 1 показаны типы паттернов, которые перечислены на основе результатов работы [12] и содержат в том числе поведенческий тип.

Следует отметить, что приведенные выше принципы У. Гренандера являются скорее *принципами от математики*. Если идти от физики транспортных процессов, можно предложить систему принципов, которые в той или иной степени можно соотнести с принципами У. Гренандера:

1) фундаментальность (система, содержащая паттерн, и сам паттерн являются проявлением микроскопических процессов в макроскопической системе, имеющих физико-математическое и/или физико-статистическое описание);

2) повторяемость (паттерн имеет свойства пространственно-временных, пространственных или временных структур — как в синергетике);

3) элементарность (в основе существования паттерна имеются процессы, деление

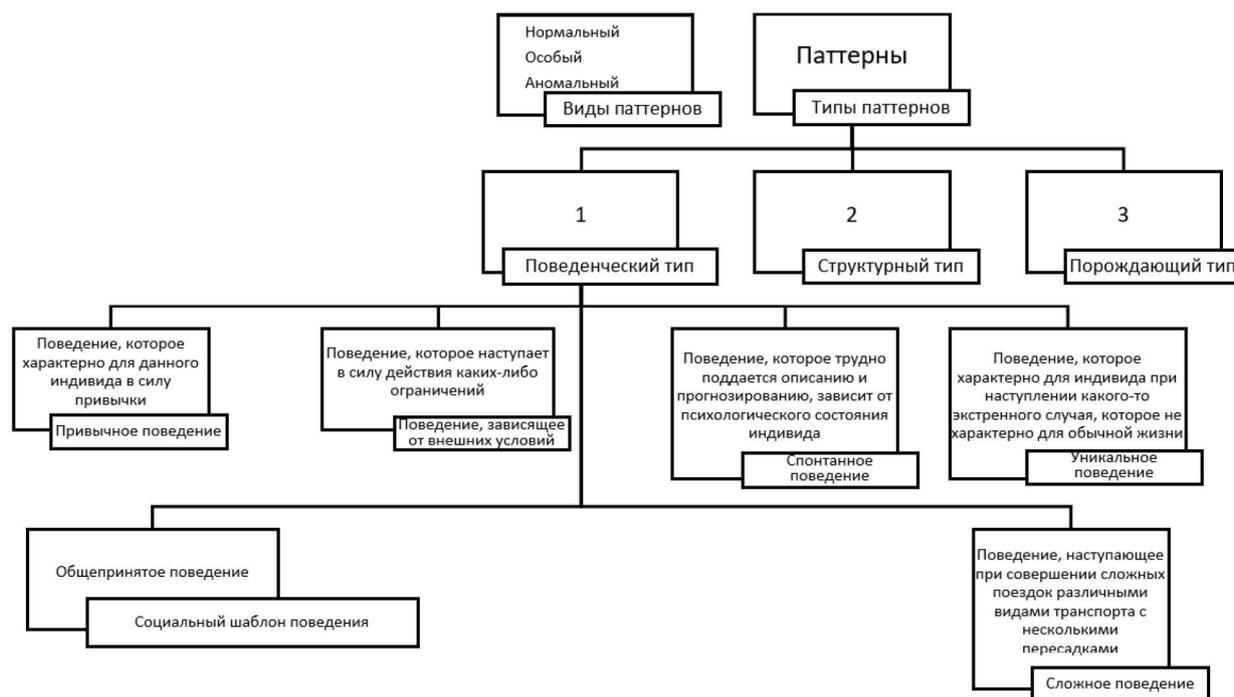


Рис. 1. Классификация паттернов

которых на более простые либо невозможно, либо приводит к исчезновению паттерна);

4) универсальность (один и тот же вид структуры, поведения и/или процесса в системе может быть характерным для систем различной природы).

Перечисленные принципы позволяют, используя результаты традиционной теории образов (паттернов), обеспечить в то же время создание методик выявления и идентификации паттернов в больших транспортных системах, полагаясь на физику формирования паттернов, а не на формальную логику. Поэтому далее мы будем придерживаться системного динамического подхода, который означает проявление паттернов транспортного поведения как результата естественных процессов в транспортных системах.

Для идентификации паттернов поведения необходимо четко сформулировать аспекты, при которых паттерны возникают и выявляются: 1) конкретный вид объекта исследования — транспортные системы; 2) конкретная операция транспортного процесса, которая

рассматривается в качестве носителя паттерна; эта же операция определяет тип математического пространства, в котором происходит описание операции; 3) характер транспортного процесса: одиночный или коллективный; 4) временной интервал, на котором происходит проявление и поиск паттерна (в текущий момент, на коротком интервале, на длительном отрезке времени, на непрерывном); 5) повторяемость транспортного процесса: однократная или многократная. Процессом здесь мы называем перемещение индивида на сети, которое в общем случае отличается двойственным характером: с одной стороны, это движение индивида, а с другой — транспортного средства, с помощью которого осуществляется поездка.

Приведем примеры: транспортная система — поток автомобилей на одном участке. Рассматривается процесс движения, соответствующее пространство описания — пространственно-временная диаграмма транспортного потока. Предмет исследования — единственный конкретный автомобиль.

Временной интервал — отрезок времени, соответствующий проезду по участку. Степень повторяемости наблюдения — многократно, каждый день, когда происходит движение этого автомобиля на данном участке. Возможный вид паттерна — график изменения скорости на участке как наиболее вероятная зависимость скорости данного автомобиля от времени и от состояния потока. Теория, в рамках которой происходит построение паттерна, — микроскопическая теория транспортного потока.

При увеличении числа участников происходит переход к новому паттерну (коллективный транспортный процесс) — поверхность зависимости средней скорости потока на пространственно-временной диаграмме. Теория — макроскопическая теория транспортного потока.

Очень часто паттерн как структурный или поведенческий тип возникает в реальных системах или математических моделях как особое состояние, равновесное распределение, аттрактор, переходный (нестационарный) процесс и т. п. Все эти объекты изучаются в теории нелинейных колебаний, теории катастроф, синергетике и др. С целью обобщения методики поиска и выявления паттернов покажем взаимосвязь теории паттернов с такими науками, как *нелинейная динамика, самоорганизованная критичность, синергетика и теория сложности*.

В синергетике исследуются явления самоорганизации в термодинамических, физических, технических и других видах систем. При этом возникают такие явления, как:

- устойчивые особые состояния (аттракторы);
- резкий переход из одного состояния в другое при достижении критического значения параметра порядка (бифуркации, фазовые переходы);
- сложное поведение системы, детерминированный хаос, самоорганизация и др.

Это означает, что возникновение физических паттернов и их идентификация не-

отъемлемы от использования подобных понятий. Во многих работах [4–6] показано, что теория самоорганизации подходит и для описания поведения транспортных систем.

Выше мы характеризовали паттерн как объект, который отображает сложное поведение системы. Понятие сложности изучается в рамках теории самоорганизованной критичности, являющейся отдельной ветвью нелинейной динамики. Поэтому считается, что с паттернами поведения тесно связано такое явление, как самоорганизация систем и возникновение в них пространственно-временных структур [13–16].

Самоорганизация в открытых системах проявляется в процессе перехода от более хаотического к менее хаотическому состоянию системы. Кроме того, возможен переход из равновесного состояния (с нулевой информацией) в неравновесное (состояние с отличной от нуля информацией). При таких переходах происходит появление новой информации — рождение высокоорганизованного состояния [17].

Применительно к транспортному поведению процесс самоорганизации может быть описан следующим образом: при наступлении некоторого события (или при реализации целых потоков событий) в транспортной системе процесс распространения информации об этом происходит от состояния с нулевой информацией к состоянию «все оповещены».

Отметим, что для открытых нелинейных динамических систем понятие информации связано с понятием энтропии. В самом общем виде энтропия $S(a)$ системы a может быть описана формулой Шеннона:

$$S(a) = -\sum_i p_i \ln p_i(a), \quad (1)$$

где p_i — вероятность события i .

При исследовании информации и энтропии степенных законов распределения используют энтропию Реньи S_β [13, 14], что соответствует случаю сложных систем:

$$S_{\beta} = \frac{1}{\beta-1} \ln \sum_i^{N_R} (p_i)^{\beta}, \quad (2)$$

где

$$\sum () = 1; \quad (3)$$

β — параметр энтропии Реньи; N_R — общее число событий.

Таким образом, мы исходим из предположения о том, что паттерн есть результат некоторого процесса, стохастического и/или динамического по своей природе, а рассматриваемая система является генератором паттернов, которые являются продуктом сложных преобразований информации в системе. Вполне естественно, что использование информационной энтропии для исследования паттернов транспортного поведения становится необходимым инструментом. Заметим, что выбор типа энтропии (Шеннона, Ренье, Цалиса и др.) зависит от характера сложного поведения системы, которое также имеет все черты наличия паттернов (катастрофы, фазовые переходы и т. п.). Правильный выбор математического описания при моделировании транспортной системы может обеспечить получение характерных множеств паттернов. Паттерны представляются как некоторый результат динамики совокупности параметров состояний (переменных) элементов транспорта и транспортной системы индивидуальных перемещений (ТСИП) [3–6].

В результате переход системы в более упорядоченное состояние представляется как процесс непрерывного изменения подмножеств элементов и подмножеств их состояний из некоторых возможных множеств, и каждый такой переход сопровождается траекторией в пространстве параметров для паттерна или последовательностью различных паттернов. В системе непрерывно осуществляется, самопроизвольно или целенаправленно, «эксперимент» поиска наиболее подходящих элементов и множеств их состояний, что отражается в информационном описании системы и соответствующих выра-

жениях для энтропии. Такая схема изучаемого процесса может быть применена как методика, позволяющая на каждом этапе моделирования транспортного поведения находить наиболее подходящие инструменты.

Теория транспортных макросистем [7–8] как инструментарий для исследования паттернов поведения последовательно разрабатывается в работах [3–6] и заключается в следующем:

- транспортная система представляется в общем случае в виде динамической макроскопической системы, действующей в масштабе, выбранном для определенного интервала времени, в которой задаются подмножества состояний, выбирается способ заполнения элементами подмножеств, находят априорные вероятности для элементов системы;

- разрабатывается численный алгоритм решения задачи, который позволяет получить (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.

Методика изучения и построения паттернов транспортного поведения

Обзор работ по тематике паттернов поведения показал, что в каждой из них рассмотрены такие понятия, как траектории перемещений индивидов, обработка больших массивов сложных данных для выявления паттернов поведения индивидов и отклонений от нормального поведения.

Алгоритм распознавания паттернов можно описать в виде, представленном на рис. 2.

Приведенная схема распознавания состоит из трех блоков: подсистема объекта



Рис. 2. Схема алгоритма распознавания паттернов транспортного поведения

управления, подсистема распознавания образов, подсистема управления. При этом принципиальным моментом является то, что поток событий при управлении объектом приводит к тому или иному состоянию системы. Мы подразумеваем здесь текущие, будущие и целевые состояния. Подсистема распознавания служит для выявления, классификации и кластеризации паттернов транспортного поведения, а подсистема управления предназначена для выработки и оказания управляющих воздействий на систему (объект) для приведения ее в целевое состояние.

Для исследования паттернов применяются различные методы. Когда речь идет об обработке больших объемов информации, применяются методы классификации, регрессии, фрагментации и кластеризации [17–21].

Как правило, распознавание паттернов происходит на основании определения нормального «значения» показателя и дальнейшего определения отклонения от нормы.

Для распознавания паттернов применяют также нейронные сети. Типичный пример — сеть Хопфилда, метод непрерывного вейвлетного преобразования, позволяющего оценивать динамику колебательных процессов с последующим выделением паттернов и их анализом [22].

Еще один метод исследования паттернов — метод символьной регрессии, т. е. метод построения регрессионных моделей путем перебора произвольных суперпозиций функций из некоторого заданного набора.

Для распознавания паттернов поведения необходимо изначально иметь информацию по цепочкам перемещений людей, длительности этих перемещений и средней скорости движения. Данную информацию возможно получить различными способами, например из баз данных сотовых операторов, путем социологических опросов, с помощью сервисов геоаналитики.

Выводы

В работе рассмотрены вопросы теоретического описания паттернов транспортного

поведения населения, сделан вывод о необходимости разработки общего инструментария для обобщенного представления транспортного поведения и его паттернов, который позволит с единых позиций оценивать различные подходы при исследовании транспортного поведения и послужит надежной методической основой для дальнейшего развития этой тематики.

Авторами установлена взаимосвязь теории паттернов со следующими научными направлениями: самоорганизованная критичность, синергетика и сложность, паттерны как динамика сети параметров состояний элементов транспорта и транспортная система индивидуальных перемещений.

Приведен разработанный авторами общий алгоритм распознавания паттернов транспортного поведения, а также представлены частные методы, которые используются для идентификации паттернов.

Актуальной остается задача обобщения в рамках единой универсальной схемы теории паттернов транспортного поведения для изучения траектории перемещений индивидов и последующей обработки больших массивов сложных данных, выявления паттернов поведения индивидов и отклонений от нормального поведения.

Разработка единого аппарата исследования паттернов поведения населения есть задача авторов настоящей работы, которая найдет отражение в дальнейших публикациях.

Библиографический список

1. Корчагин В. А., Ризаева Ю. Н. Биосферно-совместимое функционирование инженерных разработок // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2016. № 3 (9). 10 с.
2. Якимов М. Р., Попов Ю. А. Транспортное планирование: практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision@ VISUM. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Проспект, 2022. 176 с.
3. 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.

4. 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.

5. Агуреев И. Е., Ахромешин А. В. Обоснование выбора теоретического аппарата для описания транспортного поведения жителей города (мегаполиса) // Вестник Сибирского гос. автомобильно-дорожного ун-та. 2021. Т. 18, № 6 (82). С. 746–758.

6. 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.

7. Попков Ю. С. Теория макросистем: равновесные модели. Изд. 2-е. М.: ЛИБРОКОМ, 2012. 320 с.

8. Попков А. Ю., Новикова Д. С. Применение методов стохастической микродинамики для исследования равновесия в системах экономического обмена // Вестник РУДН. Сер.: Математика. Информатика. Физика. 2014. № 3. С. 78–85.

9. Гренандер У. Лекции по теории образов: в 3 т. / пер. с англ. И. Гуревича, Т. Дадашева; под ред. Ю. Журавлева. М.: Мир, 1979–1983. Т. 1. Синтез образов. 1979. 384 с.

10. Гашишко А. Е. Теория паттернов в формировании городской среды // ПРАЕНМА. Проблемы визуальной семиотики. 2019. № 3. С. 75–88.

11. Грибков А. А. Паттерны и примитивы эмпирико-метафизической общей теории систем // Общество: философия, история, культура. 2023. № 5 (109). С. 15–22.

12. Маторин С. И., Михелев М. В. Формализация многоагентных систем с помощью теории паттернов // Вестник Национального технического ун-та. Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. 2008. № 49. С. 96–100.

13. Малинецкий Г. Г., Потанов А. Б. Современные проблемы нелинейной динамики // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2001. Т. 9, № 3. С. 119–121.

14. Олемской А. И. Синергетика сложных систем. Феноменология и статистическая теория. М.: Красанд, 2009. 379 с.

15. Пригожин И., Николис Ж. Биологический порядок, структура и неустойчивости // Успехи физических наук. 1973. Т. 109, № 3. С. 517–544.

16. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / пер. с англ. Ю. А. Данилова; под ред. Ю. Л. Климонтовича. М.: Мир, 1985. 419 с.

17. Климонтович Ю. Л. Критерии относительной степени упорядоченности открытых систем // Успехи физических наук. 1996. Т. 166, № 11. С. 1231–1243.

18. Ковалев С. М., Суханов А. В. Обнаружение особых типов паттернов во временных рядах на основе гибридной стохастической модели // Известия Южного федерального ун-та. Технические науки. 2014. № 4 (153). С. 142–149.

19. Назимов А. И., Павлов А. Н., Храмов А. Е., Грубов В. В., Короновский А. А. Адаптивный метод распознавания характерных осцилляторных паттернов на основе вейвлет-преобразования // Радиотехника и электроника. 2013. № 58 (8). С. 789–795.

20. Руннова А. Е., Лопатин Д. В., Журавлев М. О. Математические методы распознавания паттернов движения экспериментальных данных многоканальной электроэнцефалографии человека // Вестник Тамбовского ун-та. Сер.: Естественные и технические науки. 2016. Т. 21, № 6. С. 2370–2374.

21. Сонькин К. М. Распознавание паттернов мозговой активности на основе метода символьной регрессии // Информатика, телекоммуникации и управление. 2013. № 2 (169). С. 117–122.

22. Частиков А. П., Малыхина М. П., Урвачев П. М. Анализ распознавания паттернов нейросетевыми методами // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского гос. аграрного ун-та. 2014. № 98. С. 457–467.

References

1. Korchagin V. A., Rizaeva Yu. N. *Biosferno-совместимое функционирование инженерных разработок* [Biosphere-compatible functioning of engineering developments]. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura – Automobile. Road. Infrastructure*, 2016, no. 3 (9), 10 p.

2. Yakimov M. R., Popov Yu. A. *Transportnoe planirovanie: prakticheskie rekomendatsii po sozdaniyu transportnykh modeley gorodov v programmnom komplekse PTV Vision@ VISUM* [Transport planning: practical recommendations for creating transport models of cities in the PTV Vision @ VISUM software package]. 2-nd ed., revised. Moscow, Prospekt Publ., 2022, 176 p.

3. Agureev I. E., Akhromeshin A. V. *K voprosu razrabotki modeli transportnoy sistemy individual'nykh peremeshcheniy s upravleniem* [On the issue of developing a model of a transport system of individual transportations with control]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of Transport and Technological Machines*, 2022, no. 4–2 (79), pp. 49–57.

4. Agureev I. E., Akhromeshin A. V. *Matematicheskaya model' transportnogo povedeniya na osnove teorii transportnykh makrosistem* [Mathematical model of transport behavior based on the theory of transport

macrosystems]. *Mir transporta – World of Transport*, 2021, vol. 19, no. 6 (97), pp. 13–18.

5. Agureev I. E., Akhromeshin A. V. *Obosnovanie vybora teoreticheskogo apparata dlya opisaniya transportnogo povedeniya zhiteley goroda (megapolisa)* [Justification of the choice of a theoretical apparatus for describing the transport behavior of residents of a city (metropolis)]. *Vestnik Sibirskogo gos. avtomobil'no-dorozhnogo un-ta – Bulletin of the Siberian State Road-Transport University*, 2021, vol. 18, no. 6 (82), pp. 746–758.

6. Agureev I. E., Akhromeshin A. V. *Sistemy upravleniya transportnym povedeniem naseleniya gorodskikh aglomeratsiy. Patterny povedeniya, metody ikh raspoznavaniya* [Systems for managing transport behavior of the population of urban agglomerations. Patterns of behavior, methods of recognition]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii – Intelligence. Innovation. Investments*, 2024, no. 4, pp. 57–75.

7. Popkov Yu. S. *Teoriya makrosistem: ravnovesnye modeli* [Theory of macrosystems: equilibrium models]. 2-nd ed., revised. Moscow, IBROKOM Publ., 2012, 320 p.

8. Popkov A. Yu., Novikova D. S. *Primenenie metodov stokhasticheskoy mikrokinamiki dlya issledovaniya ravnovesiya v sistemakh ekonomicheskogo obmena* [Application of methods of stochastic microdynamics for the study of equilibrium in economic exchange systems]. *Vestnik RUDN. Seriya: Matematika. Informatika. Fizika – Bulletin of RUDN University. Series: Mathematics. Computer science. Physics*, 2014, no. 3, pp. 78–85.

9. Grenander U. *Lektsii po teorii obrazov* [Lectures on image theory]. In 3 vols. Transl. from English by Gurevich I., Dadashev T.; ed. by Zhuravlev Yu. Moscow, Mir Publ., 1979–1983, vol. 1. [In: Sintez obrazov]. 1979, 384 p.

10. Gashenko A. E. *Teoriya patternov v formirovaniy gorodskoy sredy* [Theory of patterns in the formation of the urban environment]. *PRAENMA. Problemy vizual'noy semiotiki – PPR ENMA. Problems of visual semiotics*, 2019, no. 3, pp. 75–88.

11. Gribkov A. A. *Patterny i primitivy empiriko-metafizicheskoy obshchey teorii sistem* [Patterns and primitives of empirical-metaphysical general system theory]. *Obshchestvo: filosofiya, istoriya, kul'tura – Society: Philosophy, History, Culture*, 2023, no. 5 (109), pp. 15–22.

12. Matorin S. I., Mikhelev M. V. *Formalizatsiya mnogoagentnykh sistem s pomoshch'yu teorii patternov* [Formalization of multi-agent systems using pattern theory]. *Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo un-ta. Khar'kovskiy politekhnicheskii institut. Seriya: Informatika i modelirovanie – Bulletin of the National Technical University. Kharkov Polytechnic Institute. Series: Computer Science and Modeling*, 2008, no. 49, pp. 96–100.

13. Malinetskiy G. G., Potapov A. B. *Sovremennyye problemy nelineynoy dinamiki* [Modern problems of

nonlinear dynamics]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya nelineynaya dinamika – Proceedings of universities. Applied Nonlinear Dynamics*, 2001, vol. 9, no. 3, pp. 119–121.

14. Olemskoy A. I. *Sinergetika slozhnykh sistem. Fenomenologiya i statisticheskaya teoriya* [Synergetics of complex systems. Phenomenology and statistical theory]. Moscow, Krasand Publ., 2009, 379 p.

15. Prigozhin I., Nikolis Zh. *Biologicheskiy poryadok, struktura i neustoychivosti* [Biological order, structure and instabilities]. *Uspekhi fizicheskikh nauk – Advances of Physical Sciences*, 1973, vol. 109, no. 3, pp. 517–544.

16. Khaken G. *Sinergetika: ierarkhii neustoychivostey v samoorganizuyushchikhsya sistemakh i ustroystvakh* [Synergetics: hierarchies of instabilities in self-organizing systems and devices]. Transl. from English by Danilov Yu. A.; ed. by Klimontovich Yu. Leningrad, Moscow, Mir Publ., 1985, 419 p.

17. Klimontovich Yu. L. *Kriterii odnositel'noy stepeni uporyadochennosti otkrytykh sistem* [Criteria for the relative degree of orderliness of open systems]. *Uspekhi fizicheskikh nauk – Advances of physical sciences*, 1996, vol. 166, no. 11, pp. 1231–1243.

18. Kovalev S. M., Sukhanov A. V. *Obnaruzhenie osobykh tipov patternov vo vremennykh ryadakh na osnove gibridnoy stokhasticheskoy modeli* [Detection of special types of patterns in time series based on a hybrid stochastic model]. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo un-ta. Tekhnicheskie nauki – Bulletin of the Southern Federal University. Engineering*, 2014, no. 4 (153), pp. 142–149.

19. Nazimov A. I., Pavlov A. N., Khramov A. E., Grubov V. V., Koronovskiy A. A. *Adaptivniy metod raspoznavaniya kharakternykh ostsillyatornykh patternov na osnove veyvlet-preobrazovaniya* [Adaptive method for recognizing characteristic oscillatory patterns based on wavelet transformation]. *Radiotekhnika i elektronika – Radio Engineering and Electronics*, 2013, no. 58 (8), pp. 789–795.

20. Runnova A. E., Lopatin D. V., Zhuravlev M. O. *Matematicheskie metody raspoznavaniya patternov dvizheniya eksperimental'nykh dannykh mnogokanal'noy elektroentsefalografii cheloveka* [Mathematical methods for recognizing patterns of motion of experimental data from multichannel human electroencephalography]. *Vestnik Tambovskogo un-ta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Bulletin of Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences*, 2016, vol. 21, no. 6, pp. 2370–2374.

21. Son'kin K. M. *Raspoznavanie patternov mozgovoy aktivnosti na osnove metoda simvol'noy regressii* [Recognition of patterns of brain activity based on the method of symbolic regression]. *Informatika, telekommunikatsii i upravlenie – Informatics, Telecommunications and Management*, 2013, no. 2 (169), pp. 117–122.

22. Chastikov A. P., Malykhina M. P., Urvachev P. M. *Analiz raspoznavaniya patternov neyrosetevymi metodami* [Analysis of pattern recognition by neural network methods]. *Politematicheskii setevoy elektronniy nauchniy zhurnal Kubanskogo gos. agrarnogo un-ta – Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban state agrarian university*, 2014, no. 98, pp. 457–467.