

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

А.В. Ахромешин¹, В.А. Пышный²

^{1, 2} Тульский государственный университет, г. Тула, Россия,

¹ aakhromeshin@yandex.ru

² vladislav.pyshnyi@mail.ru

Аннотация. В рамках исследования определена возможность применения фрактального анализа для изучения транспортных потоков в городе, в том числе для разработки алгоритмов прогнозирования и оптимизации транспортного потока, принятия решений в реальном времени по управлению светофорами, маршрутами общественного транспорта и т.д. Рассчитана фрактальная размерность улично-дорожной сети г. Тула на конкретном участке.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть; фрактал, фрактальная размерность, трафик, сложная система, транспортный поток.

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE FRACTAL DIMENSION OF URBAN TRAFFIC FLOWS

A.V. Akhromeshin¹, V.A. Pyshny²

^{1, 2} Tula State University, Tula, Russia,

¹ aakhromeshin@yandex.ru

² vladislav.pyshnyi@mail.ru

Abstract. The study identified the possibility of using fractal analysis to study traffic flows in the city, including for developing algorithms for predicting and optimizing traffic flow, making real-time decisions on traffic lights, public transport routes, etc. The fractal dimension of the Tula Street and road network in a specific area was calculated.

Keywords: road network; fractal, fractal dimension, traffic, complex system, traffic flow.

Для активного развития транспортного комплекса России требуются современные решения в области строительства новых дорог, дорожных развязок, сложных транспортных узлов. Помимо самих дорог и дорожной инфраструктуры, в современном городе также существуют объекты, которые предназначены для управления дорожным движением, потоками различных видов транспорта, информирование участников дорожного движения о дорожных ситуациях, заторов, путей объезда. Таким образом, делаем вывод, что современные дороги – это сложные объекты, требующие мониторинга и управления.

Заметим, что для управления дорожным движением сейчас широко применяются интеллектуальные транспортные системы (ИТС). ИТС – это комплекс аппаратных и программных средств, который помогает более эффективно эксплуатировать транспортную сеть города и городских агломераций. Задачи ИТС сводятся к следующим основным блокам [1]: - сбор информации; - анализ трафика; - моделирование трафика; - обмен данными; - управление движением (потоками транспорта). Внедрение ИТС позволяет сократить количество пробок, повысить безопасность и комфорт водителей и пассажиров, оптимизировать использование дорожной сети.

По сути, управление дорожным движением – это обработка и анализ больших объемов данных, разработка алгоритмов прогнозирования и оптимизации транспортного потока, принятие решений в реальном времени, в том числе управление светофорами, маршрутами общественного транспорта, оперативное реагирование на аварийные ситуации.

Задача авторов – рассмотреть один из возможных методов обработки информации – фрактальный анализ, выяснить возможность применения данного метода для изучения транспортных потоков в городе, использования принципов фрактальной геометрии на улично-дорожной сети (УДС).

В работах [2, 3] описаны основополагающие принципы теории фракталов и фрактальной геометрии. Отмечено, что многие сложные системы имеют свойство самоподобия, они могут быть разбиты на более мелкие части, которые имеют те же самые свойства, что и более крупные части. Фрактальный анализ позволяет изучать сложные системы и находить закономерности в данных, которые могут быть использованы для принятия решений и прогнозирования будущих событий.

В зарубежной литературе [4-7] есть достаточное количество публикаций по вопросам применения фрактальной геометрии к изучению потоков транспорта на улично-дорожной сети города. Так, в работе [4] фрактальная геометрия используется для анализа общей транспортной нагрузки и оптимального распределения трафика с учетом различных факторов. Метод анализирует пропускную способность сети, нагрузку на сеть и соответствующий коэффициент преобразования на всех уровнях магистрали. На основе метода многокомпонентной линейной регрессии в данной статье оценивается пропускная способность городской дорожной сети и строится модель планирования пропускной способности городской дорожной сети в соответствии с ограничениями по объему трафика и времени в пути.

В работе [5] использование фрактальных и метаболических концепций позволяет по-новому взглянуть на поведение и эффективность сложных городских транспортных систем для понимания динамики перегруженных транспортных потоков в Сеуле, где наблюдаются хронические пробки и потенциал для улучшения сложившейся ситуации.

Авторами публикации [6] верно отмечено, что существует значимая положительная взаимосвязь между значением фрактальной размерности и уровнем сложности города с точки зрения роста населения и расширения территории, что повышает важность теории фракталов при изучении сложных систем.

Для изучения процессов, происходящих на УДС города, в работе [7] определяется фрактальная размерность сети, проводится исследование дорожной сети как снежинки Коха, определяется размерность решётки Серпинского, предлагаются потенциальные применения фрактальных измерений в умных городах.

Для того чтобы исследовать городское пространство и улично-дорожную сеть с различных позиций (плотность застройки, плотность трафика, интенсивность изменения городской среды в долгосрочной перспективе и т.д.), может быть эффективно применена фрактальная геометрия. Как отмечено в публикации [8]: «сравнивая значения фрактальной размерности городов в течение нескольких лет, возможно выявить географическую пространственно-временную информацию об эволюции городов, динамику фрактальной размерности, городскую эволюцию». Этот вопрос актуален для изучения как для специалистов по транспорту, так и в области градостроительства (плотность сети по отношению к территории, плотность по отношению к населению, коэффициент Энгеля [9]).

Для перехода к практическому применению фрактального анализа воспользуемся расчетом показателя (индекса) Хёрста (H), который позволяет выявлять наличие/отсутствие тренда в наблюдаемом стохастическом процессе, которые целесообразно использовать при регулировании и управлении движением транспорта с целью снижения заторов, дорожно-транспортных происшествий [10, 11].

Далее рассмотрим расчет индекса Хёрста для дорожной сети города Тула. Исходными данными послужат интенсивности транспортных потоков в сечении автомобильной дороги Тула-Белев (выезд из Тулы в сторону Мясново) в направлении въезда в город и выезда из него. Исследовался период февраль, апрель, июль и октябрь 2020 года. Данные распределены по дням (вторники, четверги и воскресенье) и часам суток. Информация получена с комплекса фото- видеофиксации транспортных потоков (см. рис. 1).

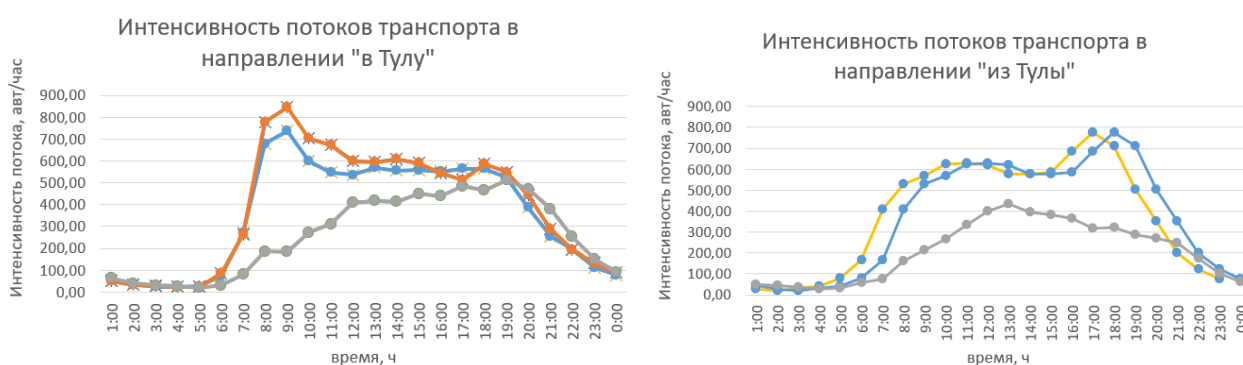


Рисунок 1 – Интенсивности движения автомобилей в направлениях «в центр» и «из центра» за полные сутки по дням недели (вторник, четверг, воскресенье)

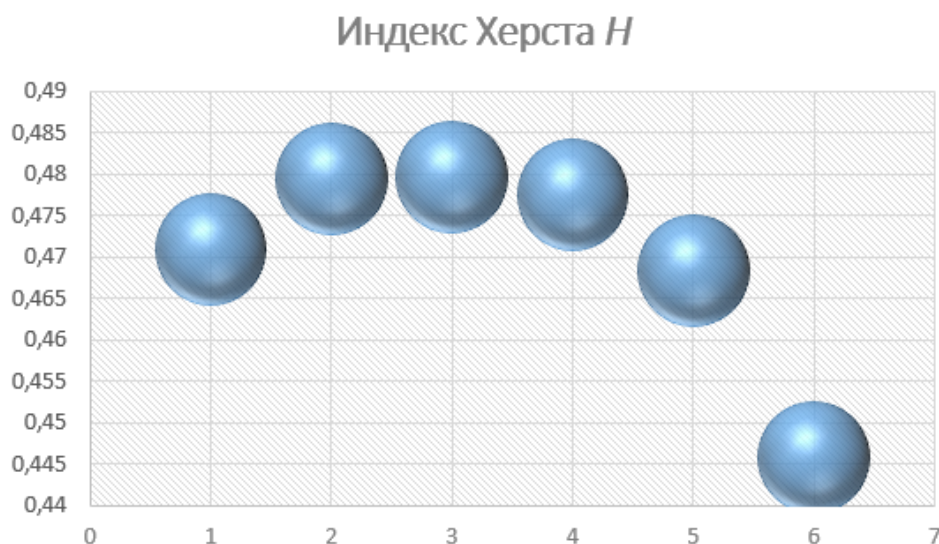


Рисунок 2 – Индекс Херста для направлений «в центр» и «из центра» по дням недели (вторник, четверг, воскресенье)

Как видно из рисунка 2, индекс Хёрста для различных дней недели и в различных направлениях движения транспорта колеблется в пределах от 0,44 до 0,49. Показатель H может принимать значения в диапазоне от 0 до 1. В нашем случае (0 до 0,5) наблюдаются антиперсистентные процессы, для которых характерна тенденция к неустойчивости значений рассматриваемого временного ряда [10].

Фрактальный анализ применим к изучению транспортных потоков по следующим причинам:

- это современный метод обработки информации (данных), в том числе, больших их массивов;
- для эффективного управления транспортными потоками;
- для анализа дорожной ситуации;
- для уменьшения количества заторов на дорогах;
- для мониторинга (анализа эффективности функционирования) систем мониторинга и центров управления дорожным движением. Ситуационных центров;
- для анализа больших объемов данных за продолжительный период, то есть для анализа изменений наблюдаемых явлений на УДС;
- для анализа времени образования основных инцидентов на дорогах, в том числе заторов, ДТП, других событий.

Выводы:

1. Установлена возможность применения фрактального анализа для изучения транспортных потоков в городе, использования принципов фрактальной геометрии на улично-дорожной сети

2. Для исследования городского пространства и улично-дорожной сети с различных позиций (плотность застройки, плотность трафика, интенсивность изменения городской среды в долгосрочной перспективе и т.д.), может быть применена фрактальная геометрия

3. Расчет показателя Хёрста применим для анализа интенсивности транспортных потоков.

4. Данный подход может быть использован при анализе и принятии решений по управлению сетью автомобильных дорог в городах и пригородах.

5. Для проведенных расчетов индекс Хёрста составил интервал от 0,44 до 0,49, что говорит тенденции к неустойчивости значений рассматриваемого временного ряда.

Список литературы

1. П. Иевлев Интеллектуальные транспортные системы Дороги будущего уже сегодня URL: <https://digitalocean.ru/n/intellektualnye-transportnye-sistemy>. Дата публикации: 22 февраля 2022.
2. Мандельброт Б. Б., Хадсон Р. Л. (Не) послушные рынки: фрактальная революция в финансах. – Издательский дом Вильямс, 2006.
3. Костюк В. Н., Уренцов О. В. Управление риском и теория фракталов //Проблемы управления рисками и безопасностью. Труды института системного анализа РАН. – 2007. – Т. 31. – С. 64-76.
4. Wen W., Deng H. Comprehensive evaluation of urban road network capacity using fractal theory in the context of the internet of things //Journal of Testing and Evaluation. – 2024. – Т. 52. – №. 3. – С. 1474-1486.
5. Kim S. et al. Fractal dimensional analysis to reveal traffic flow dynamics as organic metabolism //Transportmetrica A: Transport Science. – 2024. – С. 2390009.
6. Abid R. Fractal analysis of urban growth in complex systems //Edelweiss Applied Science and Technology. – 2024. – Т. 8. – №. 6. – С. 2133-2140.
7. Mageed I. A., Bhat A. H. Fractal Dimension of (q, β) Generalized Rényiian Entropy, R_q with Potential Fractal Dimension Applications to Smart Cities //J Sen Net Data Comm. – 2024. – Т. 4. – №. 2. – С. 01-11.
8. Лебедева О. А., Зайцева Н. В. Логистические модели роста размеров городской среды в условиях пространственно-временной динамики //Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2020. – Т. 1. – №. 7. – С. 167-168.
9. Никольский И. В. Избранные труды. – Смоленск : Ойкумена, 2009. – 332 с.
10. Бояршинов М. Г., Вавилин А. С., Васькина Е. В. Применение показателя Хёрста для исследования интенсивности транспортного потока //Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №. 2. – С. 68-81.
11. Бояршинов М. Г., Вавилин А. С. Характеристики транспортного затора на основе данных системы фото- и видеофиксации // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. №3.

References

1. P. Ievlev Intelligent transport systems Roads of the future already today URL: <https://digitalocean.ru/n/intellektualnye-transportnye-sistemy> . Publication date: February 22, 2022.
2. Mandelbrot B. B., Hudson R. L. (Not) compliant markets: a fractal revolution in finance. – Williams Publishing House, 2006.
3. Kostyuk V. N., Urentsov O. V. Risk management and fractal theory //Risk and security management issues. Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences, 2007, vol. 31, pp. 64-76.
4. Wen W., Deng H. Comprehensive evaluation of urban road network capacity using fractal theory in the context of the internet of things //Journal of Testing and Evaluation. – 2024. – Vol. 52. – No. 3. – pp. 1474-1486.

5. Kim S. et al. Fractal dimensional analysis to reveal traffic flow dynamics as organic metabolism //Transportmetrica A: Transport Science. – 2024. – p. 2390009.
6. Abid R. Fractal analysis of urban growth in complex systems //Edelweiss Applied Science and Technology. – 2024. – Vol. 8. – No. 6. – pp. 2133-2140.
7. Mageed I. A., Bhat A. H. Fractal Dimension of (q, β) Generalized Romanian Entropy, R_q with Potential Fractal Dimension Applications to Smart Cities //J Sen Net Data Comm. – 2024. – Vol. 4. – No. 2. – pp. 01-11.
8. Lebedeva O. A., Zaitseva N. V. Logistic models of urban environment size growth in terms of spatial and temporal dynamics //Modern technologies and scientific and technological progress. 2020. – Vol. 1. – No. 7. – pp. 167-168.
9. Nikolsky I. V. Selected works. Smolensk : Oikumena Publ., 2009. 332 p.
10. Boyarshinov M. G., Vavilin A. S., Vaskina E. V. Application of the Hearst indicator to study the intensity of traffic flow //Intelligence. Innovation. Investment. – 2022. No. 2. pp. 68-81.
11. Boyarshinov M. G., Vavilin A. S. Characteristics of traffic congestion based on data from the photo and video recording system // Intelligence. Innovation. Investment. 2023. №3.