

УДК 621.396.67

## О фрактальном характере автомобильного трафика города

**Караблин Олег Владимирович**

Кандидат технических наук,  
доцент,

Ростовский государственный экономический университет,  
344006, Российская Федерация, Ростов-на-Дону, ул. Садовая, 69;  
e-mail: waterman1965@mail.ru

### Аннотация

В статье проведен анализ фрактальных характеристик автомобильного трафика для отдельного участка улично-дорожной сети г. Ростова-на-Дону. Определенные значения показали возможность прогнозирования изменений автомобильного трафика в условиях развития города. Понятие фрактал было впервые введено Бенуа Мандельбротом в 1975 году. Слово образовано от латинского слова fractus – состоящий из фрагментов. С математической точки зрения фрактальный объект, прежде всего, обладает дробной (нецелой) размерностью. Известно, что точка имеет размерность, равную нулю. Отрезок прямой и окружность, характеризующиеся протяженностью (длиной), имеют размерность, равную единице. Круг и сфера, характеризующиеся площадью, имеют размерность два. Для описания множества с размерностью 1.5 требуется нечто среднее между длиной и площадью. Современные способы обнаружения атак и иных аномалий в сети недостаточно надежны, в частности, из-за недостоверного определения момента атаки, благодаря чему злоумышленник с легкостью может внести ошибки в работу системы, тем самым выведя ее из строя при помощи DDOS-атак. Фрактальный анализ трафика позволяет выявлять несвойственные для обычного трафика пакеты и своевременно блокировать атаку. Для этой задачи в работе предлагается использовать методы фрактального анализа наблюдаемой реализации трафика на сетевом уровне.

### Для цитирования в научных исследованиях

Караблин О.В. О фрактальном характере автомобильного трафика города // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Том 8. № 9А. С. 287-292.

### Ключевые слова

Автомобильный трафик, фрактал, показатель Херста, фрактальная размерность, экономика.

## Введение

Исследования, связанные с анализом трафика в различных видах сетей (электронных, материальных, транспортных и др.) показывают, что он обладает свойством масштабной инвариантности, то есть обладает свойствами самоподобия [Мандельброт, 2004, 256; Шредер, 2005, 528]. Типичным примером самоподобного процесса, приращения которого имеют долговременную зависимость, является фрактальное броуновское движение. Причем свойство самоподобия определяется показателем Херста  $H$  и существует в диапазоне  $0 < H < 1$ , а долговременная зависимость приращений в диапазоне  $0,5 < H < 1$  [Лобан, 2013, 205]. В целом любая деятельность человека, как показывают исследования [Жуков, Лямин, 2011], может носить фрактальный характер.

Так, применительно, к городу и его транспортным сообщениям, необходимо отметить, что нельзя вычислить размерность топологии сложной системы и улично-дорожной сети, используя обычную евклидову размерность. Также применение метода для определения размерности топологии улично-дорожной сети на основе свойства самоподобия, присущего фракталам, в данном случае затруднено [Шахтурин, 2018].

## Материалы и методы

Рассматриваемый подход к определению фрактальной характеристик улично-дорожной сети, видится важным условием дальнейшего использования математического аппарата самоподобия для прогнозирования трафика автомобилей по улицам города [Лобан, 2013, 204]. Так, известно, что не каждый случайный процесс, к которому относится дорожный трафик, с медленно убывающей зависимостью является самоподобным. Для определения какие временные ряды являются фрактальными, а какие случайными проводится вычисление показателя Херста [Гамалей, 2005, 42]. Если показатель Херста близок к 0,5, то это говорит о том, что временной ряд является случайным, а не фрактальным. Чем ближе показатель Херста к единице, тем сильнее во временном ряду проявляются фрактальные свойства, такой ряд является трендоустойчивым, и тенденция его может быть спрогнозирована. Приближения показателя Херста к нулю говорит о том, что временной ряд состоит из частых спадов и подъемов.

На высказанное накладывается ряд замечаний, касающихся специфики объекта исследования – улично-дорожной сети г. Ростова-на-Дону:

-современное развитие города, отличающееся демографическим приростом окраинных районов (Левенцовский, Суворовский районы), приводит к нарушению сложившихся представлений о некоторой концентрической (?) топологии города, когда по мере удаления от центра снижается плотность населения, плотность автомобильного потока, плотность застройки и прочее [Benguigui, Daoud, 1991, 365];

-фрактализация существенна в условиях отдельно взятого микрорайона города, но проблемы, связанные с плотностью автомобильного потока при ежедневной трудовой миграции и хозяйственной деятельности становятся чувствительными на городских магистралях, соединяющих городские районы (пр. Нагибина, пр. Стачки, ул. Нансена и др.).

В указанных условиях особую практическую значимость приобретают теоретические исследования фрактальных характеристик потока автомобилей на современном этапе «автомобилизации» жителей города, когда на 1000 жителей г. Ростова-на-Дону приходится в

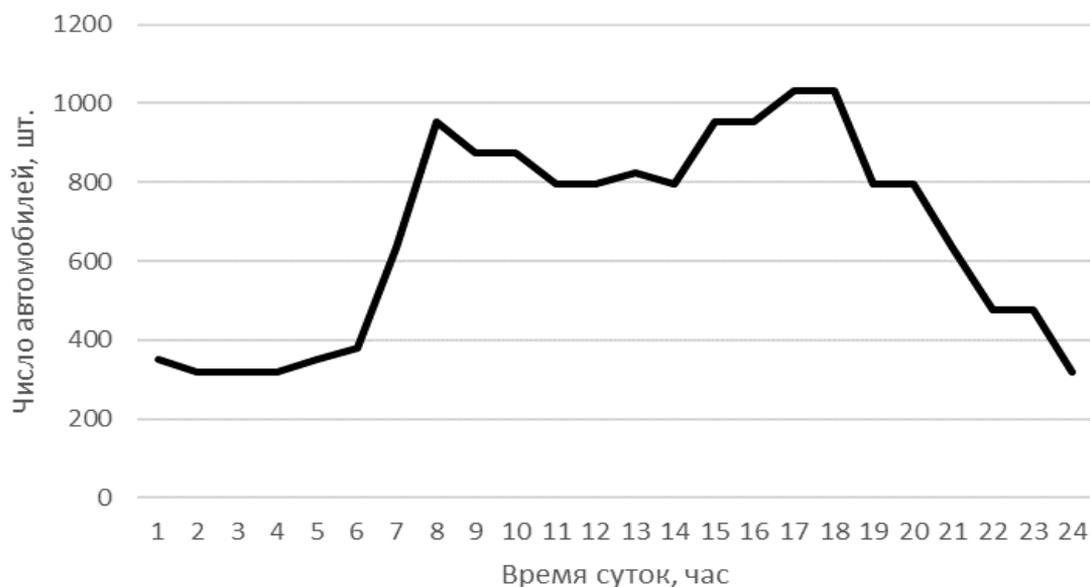
среднем около 285 автомобилей в личном пользовании [Рейтинг российских городов-миллионников, 2018], что в дальнейшем позволит применять современный математический аппарат для прогнозирования плотности потока и пропускной способности отдельных участков улично-дорожной сети города. Также видится перспективным выработка критериев для проведения топологической классификации дорог в городской транспортной сети, что позволит выработать управленческие решения, направленные на первоочередные ремонтные мероприятия для критических участков уличной дорожной сети.

Для вычисления показателя Херста методом R/S анализа временных рядов [Некрасова, 2015, 90], используем данные, полученные путем наблюдения и подсчета числа автомобилей и представленные в таблице 1.

**Таблица 1 - Данные по автомобильному потоку**

Час суток	Число автомобилей	Час суток	Число автомобилей	Час суток	Число автомобилей
1	352	9	873	17	1032
2	317	10	873	18	1032
3	317	11	794	19	794
4	317	12	794	20	794
5	349	13	825	21	635
6	381	14	794	22	476
7	635	15	952	23	476
8	952	16	952	24	317

Данные, приведенные в таблице 1, получены автором, путем наблюдения и подсчета автомобилей, въехавших на перекресток в определенные часы, далее перевод часового трафика на суточный период проводился в соответствии с коэффициентами неравномерности автомобильного движения, представленными в ОДМ 218.2020-2012 [ОДМ 218.2.020-2012, 2018]. Общая динамика трафика представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 - Динамика автомобильного трафика в течение суток**

## Результаты и обсуждение

Дальнейшая обработка проводилась по следующему алгоритму, называемым методом нормированного размаха или R/S-анализом. Одно из основных преимуществ R/S-анализа заключается в том, что в отличие от многих широко распространенных статистических критериев, он не основан на каких бы то ни было предположениях об организации исходных данных (о том, какому закону распределения они подчиняются). Это важнейший фактор, когда исследуются такие явления, как, поток автомобилей, для которых явная ошибочность гауссовых подходов подтверждена многочисленными исследованиями. Формула R/S позволяет определить для различных периодов времени, будет ли размах большим или меньшим того, какого можно ожидать в случае, когда каждый отдельный элемент исходных данных не зависит от предыдущего, что характерно для городского автомобильного трафика:

1. Расчет среднего значения,  $X_m$ , ряда  $X_1..X_n$
  2. Расчет стандартного отклонения ряда,  $S$
  3. Нормализация ряда, путем вычитания из каждого значения среднего значения,  $Z_r$ , где  $r=1..n$
  4. Создание кумулятивного временного ряда  $Y_1=Z_1$ ,  $Y_r= Z_{r-1}+Z_r$ , где  $r=2..n$
  5. Расчет размаха кумулятивного временного ряда  $R=\max(Y_1..Y_n)-\min(Y_1..Y_n)$
  6. Деление размаха кумулятивного временного ряда на стандартное отклонение  $S$ .
- И затем был рассчитан показатель Херста  $H$  по формуле

$$H = \frac{\log\left(\frac{R}{S}\right)}{\log\left(\frac{n}{2}\right)}$$

где  $n$  – число наблюдений.

Расчеты дали значение показателя Херста равным 0,689, что позволяет утверждать, что данные по автомобильному трафику носят устойчивость и могут использоваться в установлении прогнозных зависимостей прикладного характера, допустим, для построения прогноза таких параметров как интенсивность автомобильного трафика в зависимости от застройки и заселения отдельных жилых районов.

Вычислить фрактальную размерность автомобильного трафика можно по формуле:

$$D = 2 - H$$

В рассматриваемом случае она равна 1,311. Строгой формулировки с описанием смысла дробности размерности нет, но можно ее интерпретировать следующим образом, на некотором интуитивном уровне. Фрактальная размерность чувствительна ко всякого рода несовершенствам реальных объектов, позволяя различать и индивидуализировать то, что прежде было безлико и неразлично (источник). В курсе по анализу комплексных систем упоминается следующая трактовка: дробная размерность – это своего рода плотность самоподобия.

## Заключение

Исследование фрактальных методов анализа направлено на выявление несвойственных для обычного трафика структурных особенностей, вызванных аномальными изменениями и своевременно блокировать атаку.

---

## Библиография

1. Гамалей Я.В. Прогнозирование финансовых показателей работы предприятий на основе фрактального анализа // Сборник научных работ докторантов и аспирантов. Ростов-на-Дону, 2005. Часть 1. С. 36-46.
2. Жуков Д.С., Лямин С.К. Фрактальное моделирование социально-политических феноменов и процессов // PRO NUNC. Современные политические процессы. 2011. № 1(10). С. 161-171.
3. Лобан И.А. Статистический анализ сетевого трафика // Сборник работ 70-ой научной конференции студентов и аспирантов Белорусского государственного университета. Минск, 2013. Ч. 1. С. 203-207.
4. Мандельброт Б. Фракталы, случай и финансы. Москва-Ижевск, 2004. 256 с.
5. Некрасова И.В. Показатель Херста как мера фрактальной структуры и долгосрочной памяти финансовых рынков // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 7(38). Часть 3. С. 87-91.
6. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог.
7. Рейтинг российских городов-миллионников по обеспеченности автомобилями. URL: <https://www.autostat.ru/press-releases/29680>
8. Шахтурин Д.В. Моделирование информационных потоков данных в больших сетях. URL: [http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/pdf/information\\_data\\_flow.pdf](http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/pdf/information_data_flow.pdf)
9. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. Ижевск, 2005. 528 с.
10. Benguigui L., Daoud M. Is the Suburban Railway System a Fractal? // Geographical Analysis. 1991. V. 23. No 4. P. 362-368.

## About the fractal nature of the city traffic

**Oleg V. Karablin**

PhD in Technical Science, Associate Professor,  
Rostov State University of Economics,  
344006, 69, Sadovaya st., Rostov-on-Don, Russian Federation;  
e-mail: [waterman1965@mail.ru](mailto:waterman1965@mail.ru)

### Abstract

The article analyzes the fractal characteristics of road traffic for a separate section of the road network of Rostov-on-don. Certain values have shown the ability to predict changes in road traffic in the development of the city. The concept of fractal was first introduced by Benoit Mandelbrot in 1975. The word is formed from the Latin word *fractus*, consisting of fragments. From a mathematical point of view, a fractal object, first of all, has a fractional (non-integer) dimension. It is known that a point has a dimension equal to zero. Line segment and circle, characterized by length (length), have a dimension equal to one. A circle and a sphere, characterized by an area, have dimension two. To describe a set with a dimension of 1.5, a cross between length and area is required. Modern methods of detection of attacks and other anomalies in the network are not reliable enough, in particular because of the unreliable determination of the moment of attack so that an attacker can easily make errors in the system, thereby disabling it with the help of DDOS attacks. Fractal traffic analysis allows you to identify packets that are not typical for normal traffic and block the attack in a timely manner. For this task, we propose to use the methods of fractal analysis of the observed implementation of traffic at the network level.

### For citation

Karablin O.V. (2018) O fraktal'nom kharaktere avtomobil'nogo trafika goroda [About the fractal nature of the city traffic]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 8 (9A), pp. 287-292.

**Keywords**

Road traffic, fractal, Hurst exponent, fractal dimension, economics.

**References**

1. Benguigui L., Daoud M. (1991) Is the Suburban Railway System a Fractal? *Geographical Analysis*, 23, 4, pp. 362-368.
2. Gamalei Ya.V. (2005) Prognozirovanie finansovykh pokazatelei raboty predpriyatii na osnove fraktal'nogo analiza [Forecasting the financial performance of enterprises on the basis of fractal analysis]. In: *Sbornik nauchnykh rabot doktorantov i aspirantov* [Collection of research papers of doctoral students and graduate students]. Rostov-na-Donu. Part 1.
3. Loban I.A. (2013) Statisticheskii analiz setevogo trafika [Statistical analysis of network traffic]. In: *Sbornik rabot 70-oi nauchnoi konferentsii studentov i aspirantov Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta* [Collected Works of the 70th Scientific Conference of Students and Postgraduates of the Belarusian State University]. Minsk. Part 1.
4. Mandel'brot B. (2004) *Fraktaly, sluchai i finansy* [Fractals, Case and Finance]. Moskva-Izhevsk.
5. Nekrasova I.V. (2015) Pokazatel' Khersta kak mera fraktal'noi struktury i dolgosrochnoi pamyati finansovykh rynkov [Hurst's indicator as a measure of the fractal structure and long-term memory of financial markets]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International Journal of Research], 7(38), 3, pp. 87-91.
6. ODM 218.2.020-2012. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke propusknoi sposobnosti avtomobil'nykh dorog* [ODM 218.2.020-2012. Guidelines for assessing the capacity of roads].
7. *Reiting rossiiskikh gorodov-millionnikov po obespechennosti avtomobilyami* [Rating of Russian million-plus cities by car availability]. Available at: <https://www.autostat.ru/press-releases/29680> [Accessed 10/10/2018]
8. Schröder M. (2005) *Fraktaly, khaos, stepennye zakony. Miniatyury iz beskonechnogo raya* [Fractals, chaos, power laws. Miniatures from infinite paradise]. Izhevsk.
9. Shakhurin D.V. *Modelirovanie informatsionnykh potokov dannykh v bol'shikh setyakh* [Modeling information flow in large networks]. Available at: [http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/pdf/information\\_data\\_flow.pdf](http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/pdf/information_data_flow.pdf) [Accessed 10/10/2018]
10. Zhukov D.S., Lyamin S.K. (2011) Fraktal'noe modelirovanie sotsial'no-politicheskikh fenomenov i protsessov [Fractal modeling of socio-political phenomena and processes]. *PRO NUNC. Sovremennye politicheskie protsessy* [PRO NUNC. Modern political processes], 1(10), pp. 161-171.