DOI 10.37882/2223-2966.2024.05.30

АНАЛИЗ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЧТИ-ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ

ANALYSIS AND IDENTIFICATION OF NEAR-PROPORTIONAL CHARACTERISTICS IN TIME SERIES

I. Staroverov

Summary. In today's environment, the exponential growth of information requires advanced data analysis techniques, especially for the analysis of nonlinear oscillations that exhibit stable structures. This study elucidates an empirical study that aims to decompose data to elucidate the dynamics driving fast and slow processes and to identify quasi-proportions in geometric progressions. Using stock data from Walmart, the study uses a methodology based on shift functions and metric spaces to facilitate the determination of the initial values and coefficients inherent in geometric progressions. This approach allows for an in-depth study of the rhythms inherent in geometric progressions, identifying close proportions and identifying critical points in time series. The methodological novelty lies in the use of functional analysis and specialized algorithms to clarify and evaluate the mathematical stability of the results. Empirical evidence validates the method's ability to comprehensively analyze complex time series and isolate key parameters, highlighting its essential relevance for data-driven research and its applicability across multiple sectors. Additionally, this study highlights the importance of multidimensional data analysis to improve forecasting accuracy and strategic decision making.

Keywords: empirical data, almost-proportions, geometric progression, shift functions, function spaces.

Староверов Игорь Николаевич
Старший преподаватель, Российский технологический университет (МИРЭА), г. Москва
st.igornik@gmail.com

Аннотация. В современной среде экспоненциальный рост объема информации требует передовых методов анализа данных, особенно для анализа нелинейных колебаний, демонстрирующих устойчивые структуры. Это исследование поясняет эмпирическое исследование, направленное на разложение данных для выяснения динамики, управляющей быстрыми и медленными процессами, а также для выявления квазипропорций в геометрических прогрессиях. Используя биржевые данные компании Walmart, в исследовании применяется методология, основанная на функциях сдвига и метрических пространствах, что облегчает определение начальных значений и коэффициентов, присущих геометрическим прогрессиям. Этот подход позволяет углубленно изучать ритмы, присущие геометрическим прогрессиям, выявлять близкие пропорции и выявлять критические точки во временных рядах. Методологическая новизна заключается в применении функционального анализа и специализированных алгоритмов для уточнения и оценки математической устойчивости результатов. Эмпирические данные подтверждают способность этого метода всесторонне анализировать сложные временные ряды и изолировать ключевые параметры, подчеркивая его существенную значимость для исследований, ориентированных на данные, и его применимость в различных секторах. Кроме того, это исследование подчеркивает важность многомерного анализа данных для повышения точности прогнозирования и принятия стратегических решений.

Ключевые слова: эмпирические данные, почти-пропорции, геометрическая прогрессия, сдвиговые функции, функциональные пространства.

Введение

Особенностью эмпирических данных является их способность отражать результаты взаимодействий процессов, происходящих на уровнях с различными основами. Это обстоятельство обуславливает необходимость в декомпозиции исходного массива данных на элементы, представляющие как быстрые, так и медленные процессы. Анализируя динамику быстрых процессов, можно выявить структуру, близкую к периодическим (или почти-периодическим) последовательностям, что в свою очередь позволяет выделить ключевые точки системы, радикально трансформирующие ее структуру. [1, 2, 3]

В то же время, анализ медленных процессов, служащих выражением основных направлений развития, осуществляется через нелинейные трансформации — анаморфозы, преобразующие данные в последовательности с линейными участками. Сопоставление особенностей почти-периодов и основных тенденций дает возможность описать общую структуру временного ряда. [4, 5, 10]

Кроме того, в исследованиях сталкиваются с задачей выявления почти-пропорций, решение которой возможно как с использованием специальных алгоритмов для определения этих пропорций, так и через анализ связей между почти-периодами. [6, 7, 8]

В этом исследовании будут затронут анализ степени математической неровности результатов для набора функций сдвига, основанных на геометрической прогрессии, используя метрики расстояний в пространствах с метрической структурой. Кроме того, исследуется выявление критических точек в последовательностях данных, представленных временными рядами. В качестве данных были выбраны данные акции компании Walmart.

Метод

Для выявления закономерностей геометрической прогрессии используем принцип, согласно которому данные ритмы соответствуют условию $f(t*k)–f(t) = 0$, где $f(t)$ — обозначает значение анализируемого временного ряда в момент t, k — коэффициент геометрической прогрессии.

Термин «почти-пропорция» применяется к числу k, для которого выполняется условие $\left|f(t * k) - f(t)\right| < \varepsilon$, где $\varepsilon>0$ представляет собой заданный порог отклонения, который задает чувствительность метода к малейшим изменениям в данных. Это требует тщательного подхода к анализу и сравнению различных значений ε, чтобы определить наиболее подходящее для каждого конкретного случая. Такой подход позволяет добиться баланса между чувствительностью и специфичностью метода, учитывая при этом специфику анализируемых данных. В контексте дискретного анализа, при заданном общем количестве отсчетов N функции $f(t)$, определяемой экспериментальными данными, формулируется функция для расчета почти-пропорций как:

$$b(k) = \frac{k}{N}\sum_{i=1}^{N/k}\left|f(t \cdot k) - f(t)\right|$$

Для точного определения ритмов геометрической прогрессии необходимо учитывать начальную точку отсчета t_0, которая может находиться как внутри, так и за пределами анализируемых данных. С учетом этого, формула для выявления почти-пропорций модифицируется следующим образом:

$$b(k,t_0) = \frac{k}{N}\sum_{t=1}^{N/k}\left|f(t \cdot k + t_0) - f(t + t_0)\right|$$

Следовательно, структура квази-пропорций k для функции $f(t)$ может быть охарактеризована как комплекс локальных минимумов данной функции. Глубина этих минимумов на графике отражает степень приближения к истинным значениям коэффициента в геометрической последовательности для определённого промежутка времени, увеличивая их важность в исследуемом временном ряде.

В таблице 1 представлены различные сдвиговые функции, основанные на метриках функционального анализа.

Представленная методика обеспечивает комплексный подход к идентификации и анализу ритмов геометрической прогрессии во временных рядах, используя принципы функционального анализа для уточнения и оценки почти-пропорций.

Таблица 1.
Классификация сдвиговых функций в контексте функциональных метрических пространств

№	Сдвиговые функции
(1)	$b(k,t_0) = \frac{k}{N}\sqrt[2N]{\left(\sum_{t=1}^{N/k} f(t \cdot k + t_0) - f(t + t_0)\right)^{2N}}$
(2)	$b(k,t_0) = \left(\frac{k}{N}\sum_{t=1}^{N/k}\left|f(t \cdot k + t_0) - f(t + t_0)\right|\right)^{p\frac{1}{p}}$

Обозначение в формулах:
N — общее число отсчётов функции;
k — знаменатель прогрессии;
t — время;
t_0 — начало отсчета геометрической прогрессии;
p — задаваемый степенной параметр.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим классическую периодическую функцию — синус. Программирование этой функции будет выполнено на языке Python с использованием стандартных библиотек.

Определим параметры для нашей функции синуса: временной интервал t от 0 до 20 секунд с общим количеством 500 точек, а также коэффициенты k_1 и k_2 равные 4 и 7 соответственно. На основании этих данных построим график (рис. 1).

На Рисунке 1 изображено возмущение синуса, где по оси x отложено значение точки на интервале времени t, а по оси y значение величины колебания в момент времени.

С целью исследования почти-пропорциональных свойств синуса, мы вычислим и проанализируем набор сдвиговых функций. Первым шагом будет устранение трендовой компоненты по формуле $\ln\left(\frac{y_{t-\Delta t} * y_{t+\Delta t}}{y_t^2}\right) \sim t$, затем исследование сдвиговых функций на основе уравнений (1),(2) из таблицы 1 для оценки их математической эффективности в различных метрических пространствах.

Визуализируем полученные результаты на графиках сдвиговых функций в разнообразных функциональных пространствах, учитывая параметр p равным 5 и 25.

На Рисунке 2 представлен обобщенный 3D график для анализируемого набора сдвиговых функций (1),(2), где было выявлено, что сдвиговые функции демонстри-

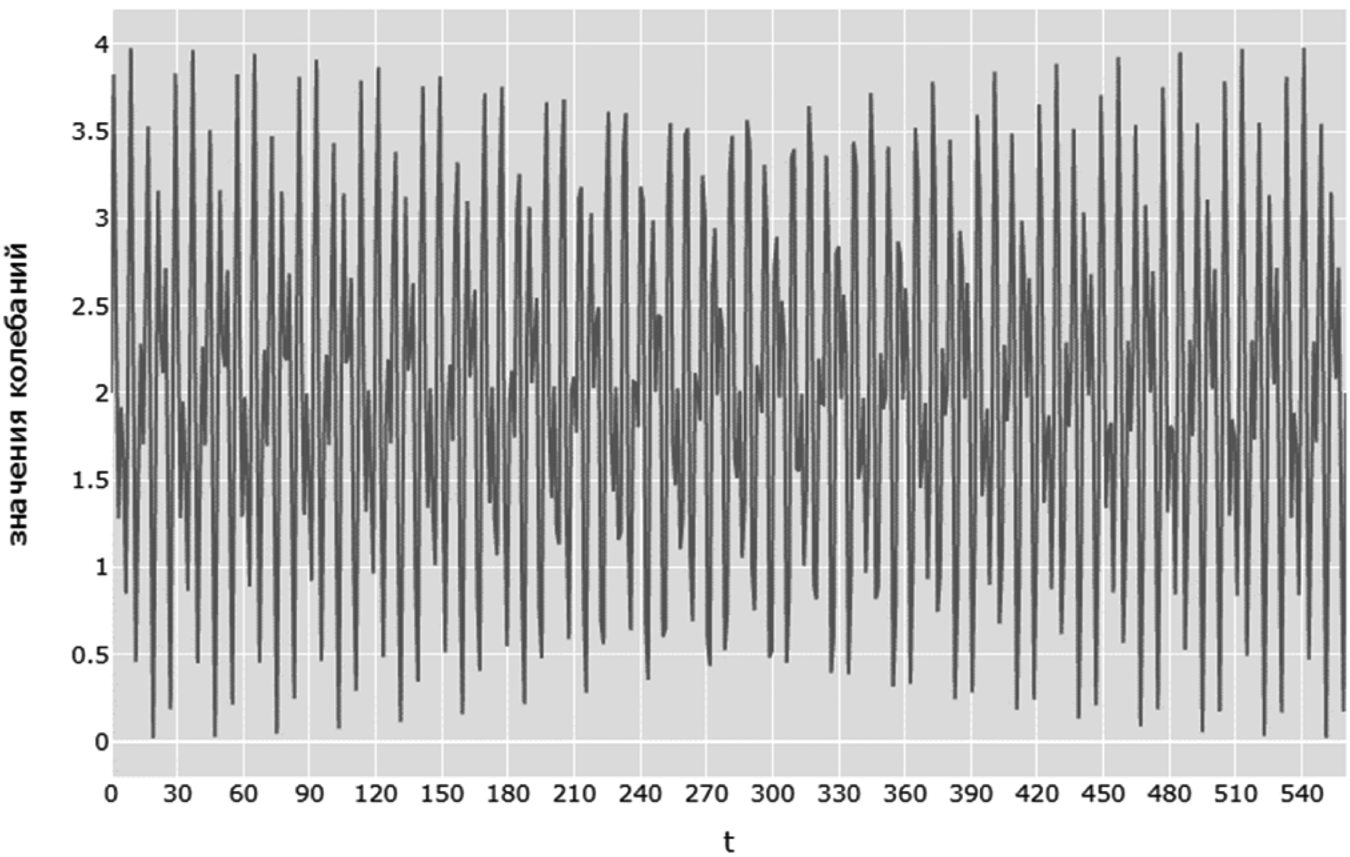

Рис. 1. Колебание синуса

руют лишь небольшие различия в структуре при разных метриках. На данном графике ось *x* отображает значения для знаменателя прогрессии *K*, а ось *y* — значения для начального параметра отсчета t_0.

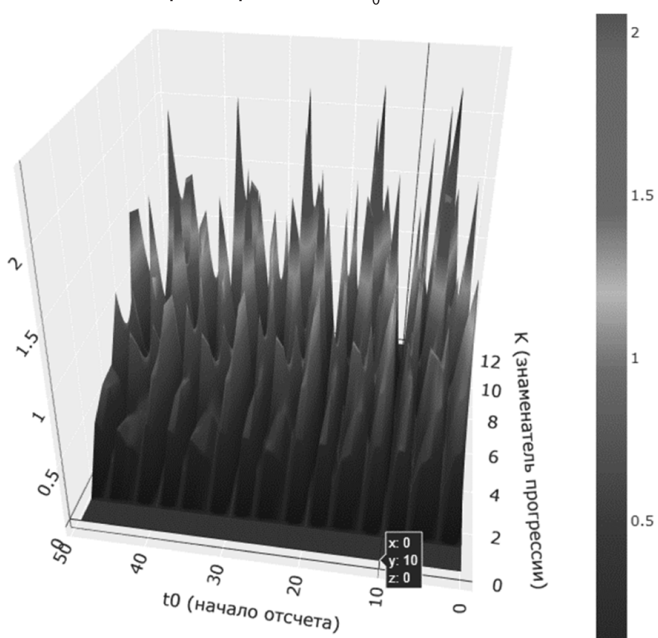

Рис. 2. 3D график класса сдвиговых функций

На основании 3D-графика был установлен параметр начального отсчета t_0, равный 10, благодаря выделенному каналу минимумов. Однако точные значения коэффициента *K* выявить не удалось из-за отсутствия подобных каналов минимумов. Зафиксированное значение для начального отсчета t_0 было затем применено на контурном графике для анализа сдвиговых функций, представленном на Рисунке 3.

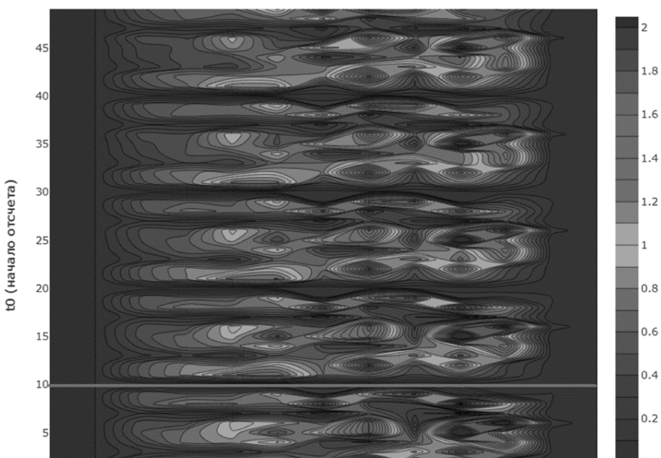

Рис. 3. Контурный график для класса сдвиговых функций

На контурном графике Рисунок 3 видно, что при t_0=10 существует явный минимальный канал, указывающий на значение данного параметра и его последующее удвоение.

Затем мы рассмотрели срез для набора сдвиговых функций с параметром t_0=10 (Рисунок 4), на котором были обозначены минимальные значения, равные 5 и 8, необходимые для определения значения *K*.

Следующим шагом построили графики почти-пропорций, основываясь на ранее выявленных значениях t_0 и *K*, с логарифмическим масштабом осей (Рисунок 5, Рисунок 6). По оси *x* отложено логарифмическое значение разницы времени и начала отсчета, а по оси *y* — логарифмические значения амплитуды синуса.

Выставим единицу отсчета на первый явный минимум и тем самым определим положение начала отчета для геометрической прогрессии.

Оба графика демонстрируют, что при выбранных параметрах t_0=10 и K=5, а также K=8 значения геометрической прогрессии соответствуют локальным минимумам.

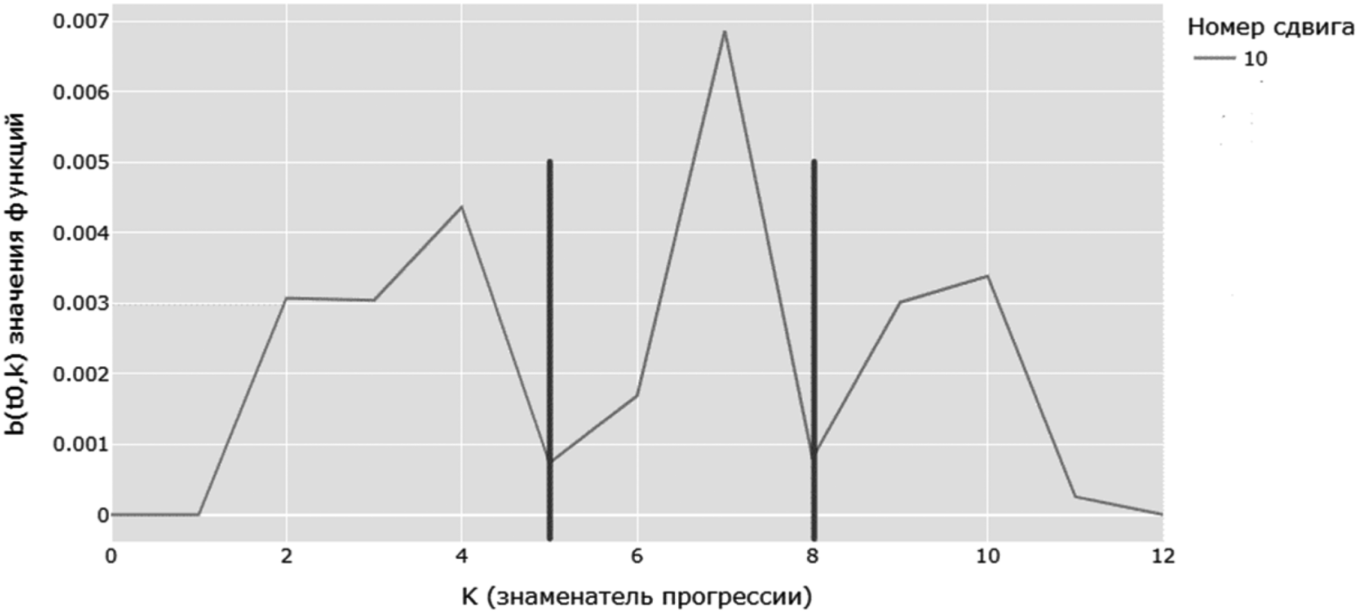

Рис. 4. Срез по t_0 для сдвиговых функций

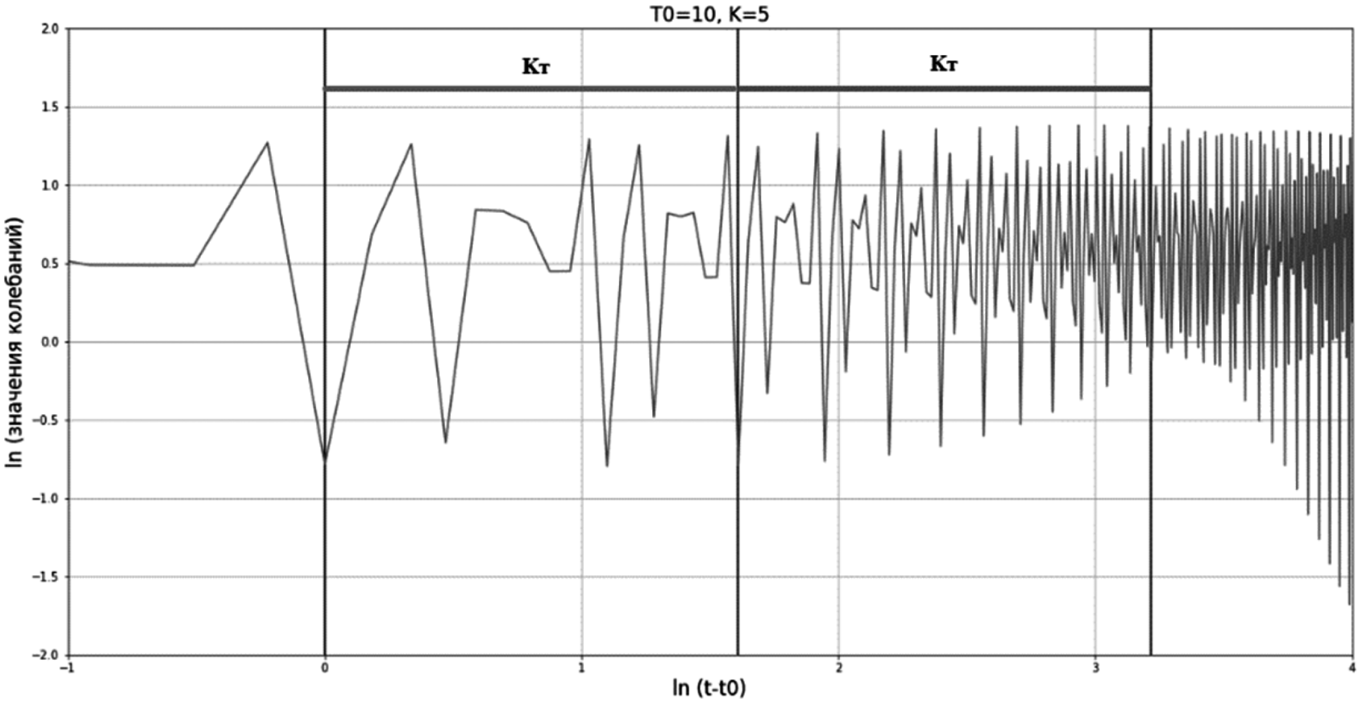

Рис. 5. Почти-пропорции для сдвиговых функций

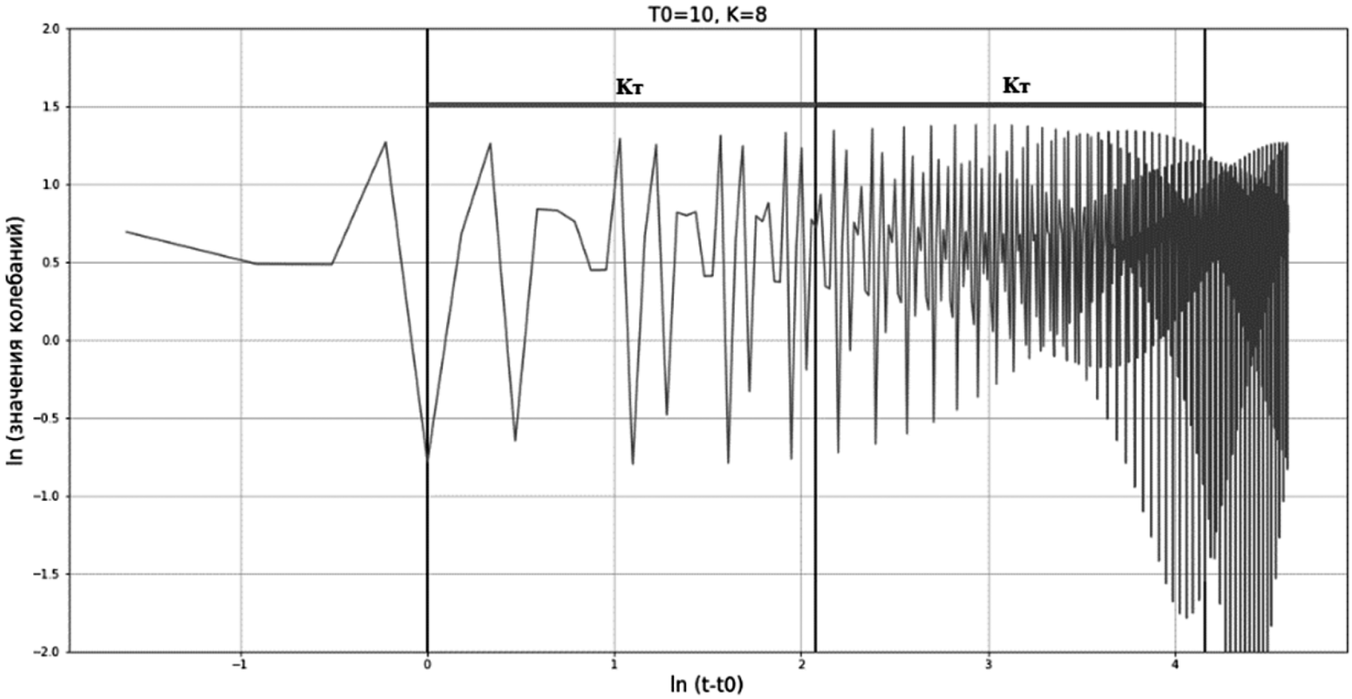

Рис. 6. Почти-пропорции для сдвиговых функций

Таким образом, результаты подтверждают корректность работы алгоритмов и моделей, поскольку исследование сдвиговых функций показывает согласованные результаты для выявленных значений параметров t_0 и K в различных метрических пространствах.

Изучим акции компании Walmart с 5 июля 1966 по 19 января 2024 года, ориентируясь на данные по торговым дням в календарном году, чтобы проверить математическую стабильность полученных результатов и выявить критические точки. [10] Информация отображена на графике (Рис. 7):

Рис. 7. Цена акции компании Walmart

На этом графике по оси x указаны года, а по оси y — цена акций.

Применим сдвиговые функции, используя уравнения (1), (2), для анализа в различных функциональных и метрических пространствах с параметром $p = 5$, 25. Ось x здесь показывает знаменатель прогрессии K, а ось y — начальный отсчет t_0.

На Рисунке 8 отображает общий 3D обзор сдвиговых функций, показывая, что их структура остается похожей во всех пространствах. Из этого графика был определен параметр $t_0 = 210$, в то время как точное значение k установить не удалось из-за отсутствия соответствующих минимумов.

На контурном графике (Рис. 9) мы видим, как значения знаменателя прогрессии K и начального отсчета t_0 распределяются, выделяя канал минимумов для $t_0 = 210$.

Далее, необходимо рассмотреть срез для класса сдвиговых функций по параметру t_0=210 (Рис. 10) для поиска значения для параметра k. Детальный анализ среза для t_0=210 позволил найти значение $k = 3572$, так как часто встречающееся на разных срезах параметра t_0. По оси x значение для параметра k, а по оси y значения функций.

Изучение класса сдвиговых функций в контексте данного временного ряда показало сходство результатов, полученных с использованием формул (1) и (2). Поэтому для визуализации результатов, касающихся параметров начального отсчета t_0 и коэффициента K, будет достаточно создать унифицированные графики.

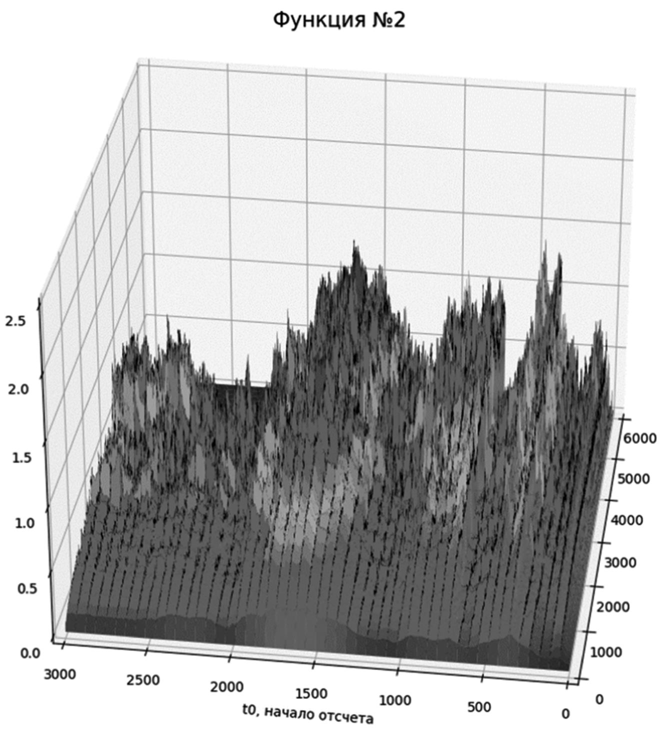

Рис. 8. 3D график для сдвиговых функций

Построим графики почти-пропорции, по выявленным ранее значениям параметров t_0 и K, у которых оси имеют логарифмический масштаб (Рис. 11). А также выявим критические точки во временном ряду. Так как параметр K имеет собственное значение более тысячи, то необходимо снижение масштаба почти-пропорции в e^7 раз чтобы, облегчая идентификацию системных критических точек. Тогда наш параметр K будет иметь значение уже не 3572, а 3,258 тем самым мы выявим критические точки системы. По оси y логарифмированное значение разницы времени и начала отсчета, а y логарифмированные значения цены акции.

На графике (Рис. 11) видно, что критические точки были выявлены там, где во временном ряду появлялись локальные минимумы, за которыми следовал интенсивный рост. Эти локальные минимумы служат индикаторами для определения почти-пропорциональных отношений в циклическом поведении временного ряда.

Анализируя устойчивость результатов для класса сдвиговых функций в рамках данного временного ряда, было установлено, что параметры t_0 и K сохраняют одинаковые значения во всех исследованных метрических пространствах. Это позволяет сделать вывод о том, что при анализе устойчивости результатов сдвиговых функций, описываемых геометрической прогрессией, в различных метрических пространствах наблюдается высокий уровень согласованности и точности. Более того, была успешно выявлена серия критических точек в анализируемом временном ряду, подтверждая эффективность метода.

Заключение

Подводя итоги работы, можно отметить следующее: разработан и проверен метод определения начального

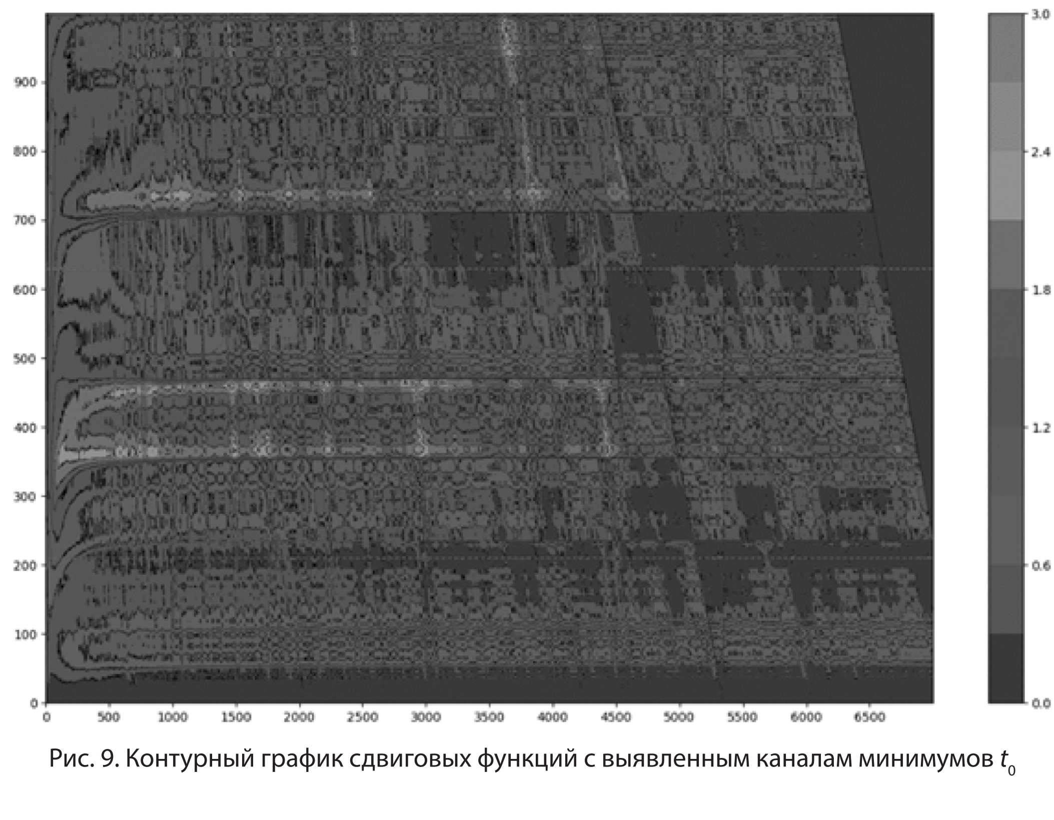

Рис. 9. Контурный график сдвиговых функций с выявленным каналам минимумов t_0

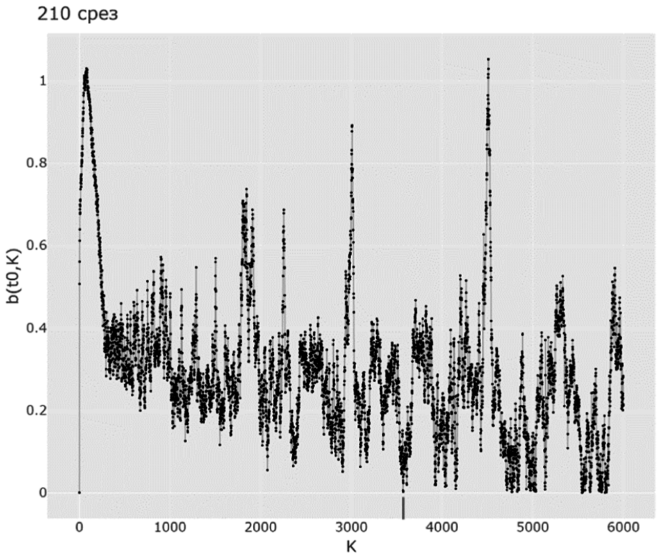

Рис. 10. Срез по t_0 для сдвиговых функций

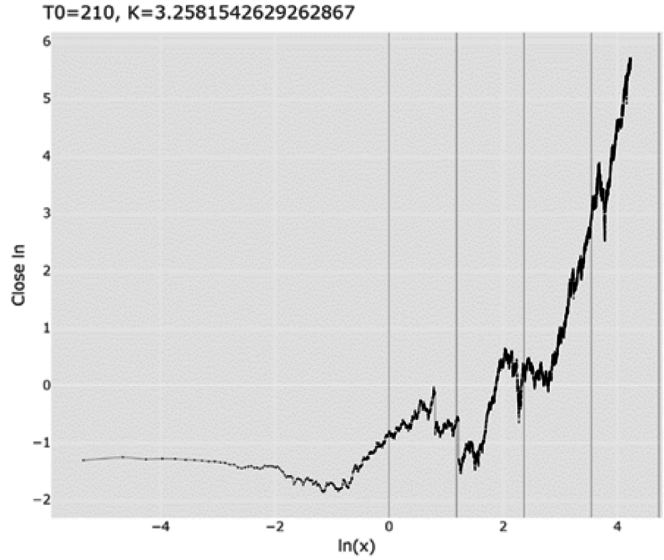

Рис. 11. Почти-пропорции для сдвиговых функций

значения t_0 и коэффициента k для геометрических рядов. Осуществлена оценка надежности полученных данных с помощью анализа сдвигов в разнообразных метрических пространствах. Значительным результатом стало выявление геометрических прогрессий с знаменателями порядка тысячи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин В.И., Гадзаов А.Ф. Методы построения моделей по эмпирическим данным. — М.: МИРЭА, 2012. — 94 с. (дата обращения 15.02.2024).
2. Староверов И.Н., Кузьмин В.И., Есипов И.В. Исследование синхронизации почти-пропорциональных и почти-периодических характеристик временных рядов. Инженерный вестник Дона, №11 (2023). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8844 (дата обращения 15.02.2024).
3. Кузьмин В.И., Гадзаов А.Ф. Технический анализ. — М.: МИРЭА, МГУПИ 2015. — 71 с. (дата обращения 16.02.2024).
4. Кузьмин В.И., Самохин А.Б. Почти периодические функции с трендом. — М.: «ВЕСТНИК МГТУ МИРЭА» No 4 2015 Том II, 2015. (дата обращения 19.02.2024).
5. Кузьмин В.И., Гадзаов А.Ф. Математические методы анализа периодических компонент нелинейных процессов и прогнозирования динамики ограниченного роста на их основе. — М.: «ВЕСТНИК МГТУ МИРЭА» No 4 2015 Том II, 2015. (дата обращения 19.02.2024).
6. Кузьмин В.И., Гадзаов А.Ф. Модели и методы научно-технического прогнозирования. — М.: МИРЭА, 2016. — 90 с. (дата обращения 12.02.2024).
7. Староверов И.Н., Кузьмин В.И. АНАЛИЗ ПОЧТИ-ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ КЛАССА СДВИГОВЫХ ФУНКЦИЙ // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. — 2023. — №01. — С. 150–160 DOI 10.37882/2223–2966.2023.01.33 (дата обращения 17.02.2024).
8. Kuzmin V., Gadzaov A., Dzerjinsky R. Methods for data analysist. — М.: Издательство «Перо», 2021. — 243 с. (дата обращения 19.02.2024).
9. A.A. Paramonov, V.I. Kuzmin and R.I. Dzerjinsky. Analysis of almost-periodic and almost-proportional characteristics of a representative sample local minima time series. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020. [Электронный ресурс] — URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1047/1/012045. (дата обращения 18.02.2024).
10. Поисковая система Yahoo [Электронный ресурс] / Yahoo. — URL: https://finance.yahoo.com/quote/WMT/history (дата обращения 21.01.2024).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»