

## ГИПОТЕЗА ФРАКТАЛЬНОГО РЫНКА КАК НОВАЯ ПАРАДИГМА ФИНАНСОВОГО ИНЖИНИРИНГА РЫНКА ДЕРИВАТИВОВ

**А.М. Лопухин**

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина  
(Елец, Россия)

**Аннотация.** Целью статьи является обоснование гипотезы фрактального рынка для эффективного прогнозирования ценовой политики финансовых активов. Предложенная Б. Мандельбротом инновация основана на концепции фрактальной структуры и долговременной памяти финансовых рынков. В статье обосновывается фрактальная структура деривативов, в соответствии с которой осуществлен подбор методов анализа рынка ценных бумаг. Доказано, что фрактальный анализ финансовых рынков определяет новые подходы к прогнозированию цен финансовых активов, дополняя и устраняя недостатки существующей линейной парадигмы. Правильное определение характеристик колебаний цен деривативов является основой научного понимания закона функционирования финансового рынка, гарантированно обеспечивает оптимальное распределение активов и систематическое управление рисками. В качестве инструмента анализа и прогноза выступили производные финансовые инструменты – фьючерсы.

**Ключевые слова:** финансовый инжиниринг, фьючерсы, гипотеза фрактального рынка.

## THE FRACTAL MARKET HYPOTHESIS AS A NEW PARADIGM OF FINANCIAL ENGINEERING OF THE DERIVATIVES MARKET

**A.M. Lopuchin**

Bunin Yelets State University  
(Yelets, Russia)

**Abstract.** The purpose of the article is to substantiate the fractal market hypothesis for effective forecasting of the pricing policy of financial assets. The innovation proposed by B. Mandelbrot is based on the concept of fractal structure and long-term memory of financial markets. The article substantiates the fractal structure of derivatives, in accordance with which the selection of methods for analyzing the securities market was carried out. It has been proven that fractal analysis of financial markets determines new approaches to forecasting prices of financial assets, complementing and eliminating the shortcomings of the existing linear paradigm. Correct determination of the characteristics of derivatives price fluctuations is the basis for a scientific understanding of the law of functioning of the financial market, guaranteed to ensure optimal asset allocation and systematic risk management. Derivative financial instruments - futures - acted as an analysis and forecast tool.

**Keywords:** financial engineering, futures, fractal market hypothesis.

## **Введение**

Деривативы – это финансовый инструмент, в основе которого лежит стоимость базового актива. Этими активами могут быть товары, акции, облигации или любой другой финансовый актив. Они широко используются в финансовой инженерии для управления рисками, хеджирования инвестиций и спекуляций на будущих движениях цен. Деривативы были предметом многочисленных дискуссий и споров: некоторые исследователи утверждают, что они вносят нестабильность и системный риск на финансовые рынки. К важным недостаткам относят отсутствие прозрачности в их ценообразовании и торговле, высокое кредитное плечо и сложность. В то время как другие исследователи убеждены, что деривативы являются важным инструментом для управления рисками и обеспечения ликвидности.

Производные финансовые инструменты (деривативы) – это малоизученная экономическая категория, так как сам рынок производных финансовых инструментов является молодым явлением. Однако, согласно некоторым источникам, производные инструменты берут свое начало еще в Древнем мире. Древняя Греция стала основателем рынков производных инструментов на сельскохозяйственные товары. Но наиболее известен период тюльпаномании в 30-х годах XVII века в Англии и в Нидерландах. Из-за резкого изменения цены на луковицы тюльпанов в этот период активно велась продажа и покупка опционов на луковицы тюльпанов. К 30-м годам появились форварды на аналогичный актив. Операции по покупке и продаже этих деривативов проводились на Королевской бирже в Англии.

Спустя примерно два десятилетия в Японии зародилось подобие современных деривативов. Они возникли из-за необходимости в наличных средствах землевладельцев, которые в то время получали натуральную ренту. Так возникли рисовые купоны. Данные купоны предоставляли право на получение установленного количества риса в будущем на определенную дату по фиксированной цене. Таким образом, фермеры получали стабильный доход, а владельцы купонов имели гарантии на непрерывные поставки риса. Следует отметить, что торговец Хомма Мунэхиза проявил интерес к движению цен на эти рисовые купоны, показывая их в виде японских свечей, что, как известно, проложило основу техническому анализу.

Следующий этап развития производных инструментов следует отнести к 30-м годам XIX века, когда активно шла деятельность по торговле «пут» и «колл» на Лондонской фондовой бирже.

Зарождение современного рынка производных финансовых инструментов ученые относят ко второй половине прошлого века. Так торговля опционными контрактами в США была стандартизирована и осуществлена в 1973 году на Чикагской бирже опционов. Исследователи выделяют как идентичный сценарий зарубежных рынков (США, Великобритания, Япония, Германия, Франция) производных финансовых инструментов, так и общие намерения данных рынков, их структуру. С переходом к рыночной экономике зарождается рынок производных финансовых инструментов в России, именно Московская товарная биржа в 1992 году стала проводить торги, приняв правила фьючерсной торговли.

Установление цен и оценка деривативов является важнейшим аспектом финансового инжиниринга. Ценообразование и оценка деривативов сложны, поскольку они зависят от различных факторов, таких как тип дериватива, базовый актив, срок погашения, цена исполнения, процентные ставки и волатильность. Финансовый инжиниринг (инженерия) основан на методах информатики, статистики, экономики и прикладной математики. В финансовой инженерии разрабатываются модели, позволяющие прогнозировать поведение

цены на производные финансовые инструменты на основе различных факторов, таких как волатильность рынка, время до истечения срока действия и процентные ставки. Разрабатываемые количественные модели риска необходимы, чтобы предсказать, как будет работать инвестиционный инструмент, будет ли новое предложение в финансовом секторе жизнеспособным и прибыльным в долгосрочной перспективе, а также какие типы рисков представлены в каждом предложении продукта, учитывая волатильность рынков. С точки зрения инвестора, ценообразование и оценка деривативов важны для определения того, является ли дериватив переоцененным или заниженным. Завышенная цена деривативов может привести к убыткам, а заниженная цена деривативов может привести к упущенным возможностям. С точки зрения эмитента, ценообразование и оценка деривативов необходимы для обеспечения правильной оценки дериватива и получения адекватной компенсации за риск, который он принимает.

Финансовая инженерия характеризуется постоянными инновациями. Создаются новые деривативы и торговые инструменты, расширяя границы финансовых рынков. Перечислим некоторые из наиболее многообещающих инноваций и возможностей в области финансового инжиниринга:

1. Математическое моделирование с применением сложных моделей. Сложные математические модели, такие как модель Блэка-Шоулза-Мертон, биномиальная модель Кокса-Росса-Рубинштейна используются для риск-нейтральной оценки деривативов [3]. В основе моделей лежит алгоритм построения биномиального дерева, иллюстрирующего различные варианты изменения цены базисного актива.

2. Модели анализа данных. Для разработки прогнозных моделей ценообразования производных финансовых инструментов и оценки рисков применяются различные методы анализа данных (корреляционный и регрессионный анализ, метод сравнения средних, частотный анализ, анализ главных компонент, кластерный анализ, дискриминантный анализ, факторный анализ, многомерное шкалирование и др.).

3. Метод Монте-Карло. Данный метод широко используется для оценки различных сценариев и анализе волатильности для управления рисками и оптимизации портфеля. Метод применим для любых видов деривативов.

4. Торговые платформы. Передовые торговые платформы и алгоритмы используются для эффективного выполнения сделок с производными финансовыми инструментами и извлечения выгоды из рыночных возможностей. Эти платформы предлагают трейдерам доступ к новым рынкам и новым продуктам, что облегчает им управление рисками и создает новые инвестиционные возможности.

5. Технология блокчейна. Использование данной технологии в торговле деривативами является одной из наиболее значительных инноваций последних лет. Технология блокчейн предлагает безопасный, прозрачный и эффективный способ управления транзакциями с деривативами, снижая различные риски и одновременно повышая прозрачность.

6. Искусственный интеллект. ИИ может помочь трейдерам принимать более обоснованные решения, анализируя огромные объемы данных и выявляя закономерности и тенденции. ИИ также может более эффективно управлять рисками, анализируя рыночные данные в режиме реального времени и предоставляя данные о потенциальных движениях рынка.

Однако, чтобы ответить на более концептуальные вопросы в отношении выбора эффективного метода, необходим новый взгляд и оценка в поиске новой методологии, которая будет революционизировать способы торговли, расчетов и клиринга деривативов.

## **Фрактальные методы в финансовом инжиниринге фьючерсов**

Наиболее широко используемыми финансовыми инструментами являются товарные фьючерсы. Фьючерсный рынок — это формальный регулируемый форвардный рынок товаров, на котором установленные тоннажи стандартного качества продаются для доставки в установленное время в назначенный фьючерсный магазин. Наличие стандартизированных контрактов делает фьючерсы более ликвидными. Фьючерсные контракты используются для хеджирования колебаний цен или спекуляций на будущей цене актива. Рынок фьючерсов более популярен, чем другие деривативы, поскольку фьючерсы более доступны для розничных инвесторов.

Эффективным индикатором в условиях высокой степени волатильности различных рынков выступают котировки фьючерсных контрактов. Для выявления тенденции котировок фьючерсных контрактов в краткосрочном и среднесрочном периодах применяются различные инструменты и технологии.

Однако стандартные методы вероятностно-статистического, фундаментального и технического анализа плохо работают по причине негауссовского распределения финансового рынка и недоказанности того, что экономика и финансы – это случайные события, где прошлое не влияет на будущее. Постепенно утратила свою значимость и гипотеза эффективного рынка, заключающаяся в том, что финансовый рынок характеризуется линейностью, непрерывностью, статичностью и независимостью, следовательно, легко контролирующая и прогнозирующая рынок [5].

При более детальном изучении особенностей колебаний на ценные бумаги и законов функционирования рынка ценных бумаг было установлено, что финансовому рынку присущи необычные характеристики, такие как лептокуртическое распределение (высокие пики) и «тяжелые хвосты» доходности ценных бумаг, эффект P/E и календарный эффект (календарные аномалии – «день недели», «месяц года» и др.), а также высокочастотный и кластерный финансовый риск [4]. Все это убедительно свидетельствует о том, что рынок ценных бумаг может иметь характеристики дискретности, нелинейности и сложности. Таким образом, в более широкой и комплексной перспективе необходимо принять новую сложную парадигму для анализа сложных проблем социально-экономических наук – гипотезу фрактального рынка. Гипотеза фрактального рынка – это одна из наиболее важных теоретических инноваций, основанных на фрактальной геометрии и оказывающих глубокое влияние на развитие современных теорий и практик инвестирования в ценные бумаги [7]. В связи с этим ведущим методом экономико-математического анализа и прогнозирования поведения фьючерсного рынка был предложен фрактальный инструмент – метод R/S анализа, обладающий наибольшей точностью.

Согласно определению Бенуа Мандельброта, «фракталы – это объекты различной природы (математические, природные, созданные человеком), которые имеют неправильную, изрезанную, раздробленную форму» [1, с. 50]. Другими словами, фрактал – это множество, части которого подобны целому. В финансовом смысле, отмечал Б. Мандельброт, фрактальность означает изменчивость одинаковую на всех уровнях. В финансах эта концепция состоит в теоретической переформулировке рыночной поговорки: движения акции (валюты) внешне похожи, независимо от масштаба времени и цены. В данном контексте было введено понятие фрактала через размерность Хаусдорфа-Безиковича (в предисловии к эссе 1975 г.): «Фракталом называют множество, для которого топологическая размерность Хаусдорфа-Безиковича строго больше его топологической размерности:  $d_f > d_T$ » [1; 9]. С появлением концепции фрактала термины «хаос», «хаотические процессы», «хаотическая динамика» приобрели новые научные смыслы,

формирующие новые научные понятия. Стало возможным количественно оценивать сложноорганизованные явления различной природы, степень хаотичности, уровни организации и самоорганизации сложных саморазвивающихся систем.

Временной ряд ценовых активов представляет собой неровную линию. Фрактальная размерность случайного временного ряда равна 1,5. Фрактал можно рассматривать как некий аттрактор (предел и цель) движения хаотической системы. При увеличении фрактальной структуры раскрывается больше деталей, т.е. реализуется принцип самоподобия. Аналогично ведет себя и временной аттрактор. Поэтому временной ряд можно считать фрактальным при условии выполнения свойства статистического самоподобия. Данное свойство имеют все ранги котировок финансовых активов. В техническом анализе одним из основных графическим методом является «Волны Эллиотта», который также основан на принципе самоподобия.

С точки зрения классической евклидовой геометрии скомканный лист бумаги будет трёхмерной сферой. Однако в реальности же он остается двухмерным объектом. По предположению новый объект будет иметь размерность больше двух, но меньше трех, то есть слабо коррелирует с евклидовой геометрией, но вполне может быть описан методами фрактальной геометрии. Следуя фрактальной методологии можно утверждать, что новый объект будет иметь размерность равную 2,5.

Применяя эту теорию к финансовым рынкам, можно предположить, что рынки характеризуются различной степенью пластичности – способность принимать и сохранять форму. Таким образом финансовые рынки могут формироваться с учетом их формы. Термин «пластичность рынка» отражает динамику и социально сконструированный характер рынков. Пластический характер рынков имеет два важных следствия. «Во-первых, способность сохранять форму позволяет рынкам придавать форму другим объектам, например, влияя на форму конкретного объекта обмена, на режим конкретный экономический обмен или характеристики обменного агента. Во-вторых, способность формообразования позволяет рынкам совмещать несколько форм одновременно» [2].

Гипотеза фрактального рынка возникла в науке в результате двух исторических событий: (1) развития междисциплинарных наук; и (2) появления новаторских, творческих исследований Мандельброта по фрактальной и мультифрактальной геометрии [1; 9]. Концепт данной теории был впервые предложен Питерсом [4], который предположил, что цена ценных бумаг подвержена фрактальному броуновскому движению, а ее доходность следует фрактальному распределению, характеризующемуся самоподобием и долговременной памятью. Поскольку гипотеза фрактального рынка допускает нелинейные характеристики рынка ценных бумаг, то она и сочетается с другими теориями (гипотеза эффективного рынка, гипотеза адаптивного рынка), и согласовывает различия между различными финансовыми теориями [9].

Основным методом исследования финансовых временных рядов является R/S-анализ. Данный метод был предложен Г. Э. Херстом. [6] в 1951 году для количественной оценки природы временных рядов долговременной емкости водохранилищ. Показатель Херста (H) представляет собой количественную оценку случайности, проявляемую в структуре временного ряда, посредством измерения корреляции между средним из ближайших прошлых значений и средним из ближайших будущих значений. Данный показатель был рассмотрен Б. Мандельбротом в качестве меры долговременной зависимости и детерминированной циклами тенденции [1, с. 190]. В последствие метод R/S-анализа был детализирован благодаря исследованиям Г. Херста. Показатель Херста может быть определен на интервале  $[0, 1]$  и рассчитывается в пределах, указанных в таблице 1.

Взаимосвязь показателя фрактальности и финансового временного ряда

Значения показателя Херста	Характер временного финансового ряда
$0 \leq H < 0,5$	Ряд имеет фрактальную природу, гипотеза фрактального рынка подтверждена, «тяжелые хвосты» распределения, отрицательная корреляция в инструментах изменения стоимости, т.е. доходность ценных бумаг имеет антиперсистентность и не имеет долговременной памяти, то есть колебание цен на ценные бумаги имеет противоположный эффект («розовый шум» при частой смене направления движения цены), торговля на рынке имеет рискованный характер для отдельного участника
$H = 0,5$	Ряд имеет случайную природу, гипотеза эффективного рынка подтверждена, движение цен активов является примером случайного броуновского движения (винеровский процесс), доходность ценных бумаг случайна (случайный «белый шум»), временные ряды нормально распределены, отсутствует корреляция в изменении стоимости активов (память серии), трейдеры не могут «переиграть» рынок какой-либо торговой стратегией;
$0,5 < H \leq 1$	Ряд имеет фрактальную природу, гипотеза фрактального рынка подтверждена, доходность ценных бумаг обладает устойчивостью и долговременной памятью, то есть колебания цен на ценные бумаги имеют эффект инерции или импульса (персистентный черный шум), «тяжелые хвосты» распределения, положительная корреляция в пределах изменения стоимости активов, тенденция присутствует

Б. Мандельброт, отмечая очевидную связь между показателем Херста и фрактальной размерностью как дескрипторов временного ряда, в свою очередь пояснял, что соотношение  $H = 2 - D$  сохраняется в мелкомасштабной структуре. Далее Питерс установил, что при анализе фондовых рисков предпочтительнее использовать фрактальную размерность вместо стандартного отклонения [7]. Обоснованным будет применение стандартного отклонения в качестве основных характеристик показателей риска в случае рассмотрения рыночного стохастического процесса. Однако если признать, что рынок – это не стохастическое, а хаотическое движение цены, то фрактальное измерение, как мера нелинейности ценовых движений, подходит гораздо точнее.

### Заключение

Гипотеза фрактального рынка является неоклассической репрезентативной теорией финансового рынка, которая отражает сложность и нелинейность рынка ценных бумаг и предлагает для описания рынка деривативов более высокий уровень финансового инжиниринга. Финансовый инжиниринг в сфере деривативов – это динамичная область, в которой сходятся математика, инновации и управление рисками. Мы предлагаем только одну и возможностей и стратегий, которая реконструирует структуру анализа финансовых инвестиций и может удовлетворить постоянно меняющиеся потребности инвесторов и учреждений на рынках производных финансовых инструментов. Предложенный метод не только направлен на повышение доходности, но и играет жизненно важную роль в управлении и смягчении рисков.

### Список источников

1. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
2. Свиридов, О.Ю., Некрасова, И.В., Фрактальный анализ финансовых рынков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 10 (52). – С.74-80.
3. Сурков, П.В. Эконометрическое моделирование эволюции цен в задачах оценки опционов: автореф. дисс. наук. – Воронеж, 2008. – 23 с.
4. Теплова, Т.В. Моментум-эффект на рынке акций и инвестиционная торговая стратегия «по течению»: методики тестирования и развитие модели ценообразования финансовых активов // Управление финансовыми рисками. – 2013. – № 04(36). – С. 282-295.
5. Fama, E. F. (1970). Efficient capital market: A review of theory and empirical work // Journal of Finance. – Vol. 25(2). – Pp. 383–417.
6. Hurst, H.E. Long-term storage of reservoirs: an experimental study // Transactions of the American Society of Civil Engineers. –1951. – Vol. 116. – Pp. 770-779.
7. Peters, E. Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics. – New York: John Wiley & Sons, 1994. – 315p.
8. Liu ,G., Song, G.-H. Fractal: Theory, innovation and application in nonlinear science. Chinese Journal of Systems Science. – 2013. – Vol. 21(2). – Pp. 47-50.
9. Mandelbrot, B. B., Hudson, R. The (mis) behavior of markets. X. Zhang & Z.-W. Zhang (trans.). – China Renmin University Press, 2009.
10. Moradi, M., Jabbari Nooghabi M., Rounaghi M. M. Investigation of fractal market hypothesis and forecasting time series stock returns for Tehran Stock Exchange and London Stock Exchange // International Journal of Finance & Economics. – 2019. – Vol. 26(1). – Pp. 662–678.

### References

1. Mandelbrot, B. Fractal geometry of nature. – М.: Institute of Computer Research, 2002. – 656 p.
2. Sviridov, O.Yu., Nekrasova, I.V., Fractal analysis of financial markets // International scientific research journal. – 2016. – No. 10 (52). – Pp.74-80.
3. Surkov, P.V. Econometric modeling of price evolution in options pricing problems: abstract of thesis. diss. Sci. – Voronezh, 2008. – 23 p.
4. Теплова, Т.В. Momentum effect in the stock market and investment trading strategy “with the flow”: testing methods and development of a financial asset pricing model // Financial Risk Management. – 2013. – No. 04(36). – Pp. 282-295.
5. Fama, E. F. (1970). Efficient capital market: A review of theory and empirical work // Journal of Finance. – Vol. 25(2). – Pp. 383–417.
6. Hurst, H.E. Long-term storage of reservoirs: an experimental study // Transactions of the American Society of Civil Engineers. –1951. – Vol. 116. – Pp. 770-779.
7. Peters, E. Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics. – New York: John Wiley & Sons, 1994. – 315p.
8. Liu, G., Song, G.-H. Fractal: Theory, innovation and application in nonlinear science. Chinese Journal of Systems Science. – 2013. – Vol. 21(2). – Pp. 47-50.
9. Mandelbrot, B. B., Hudson, R. The (mis) behavior of markets. X. Zhang & Z.-W. Zhang (trans.). – China Renmin University Press, 2009.
10. Moradi, M., Jabbari Nooghabi M., Rounaghi M. M. Investigation of fractal market hypothesis and forecasting time series stock returns for Tehran Stock Exchange and London Stock Exchange // International Journal of Finance & Economics. – 2019. – Vol. 26(1). – Pp. 662–678.