Вестник Азербайджанской Инженерной Академии $g - 2019.- Т.11.- №2 - С.108-117.

УДК 517.983

ЭКОНОФИЗИКА – НОВЕЙШИЙ МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЦЕПЦИИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ*

Р.Г. ВЕЛИЕВ**, О.А. ДЫШИН**, А.А. ДЖАНАХМЕДОВ**

Дан анализ преимуществ применения законов эконофизики с использованием методов квантовой статистики, нелинейного осреднения и когерентных мер риска для описания фондовых и валютных рынков. Показаны возможности исследования поведения финансовых временных рядов на основе их фрактальных показателей, позволяющих рассматривать в качестве идеологической базы современной финансовой теории и финансового бизнеса концепцию фрактального рынка, альтернативную гипотезе эффективного и саморегулируемого рынка.

Ключевые слова: *конофизика, фрактальный рынок, биржевое время, индекс фрактальности, квантовая экономика.*

Введение. При рассмотрении одномерных мер риска измеряется риск одномерных случайных величин, имеющих смысл стоимости портфелей, выраженной в единицах некоторой базовой валюты. Такой подход оправдан в том случае, когда имеется базовая валюта, или в том случае, когда в конечный момент времени все финансовые позиции ликвидируются, т.е. превращаются в некоторое количество единиц базового актива. Однако такой подход неудобен, например, при описании портфеля, состоящего из нескольких валют, когда нет единой «канонической» валюты, к которой должен приводиться портфель. В таком случае гораздо естественнее пользоваться подходом, предложенным Ю.М. Кабановым [71-72], при котором портфель описывается не как число, а как вектор, $i-$я компонента которого имеет смысл количества единиц $i-$й валюты в портфеле.

Если описывать портфели как векторы, то возникает необходимость рассмотрения многомерных мер риска. Понятие многомерной когерентной меры риска было введено в работе Э.Жуини, М.Меддеба, Н.Тузи [73], а также было рассмотрено в работах [74, 75]. Их

* Продолжение статьи. Начало – в № 1, Т.11, 2019.
** Азербайджанская инженерная академия

подход нацелен на то, чтобы учесть операционные издержки при обмене одной валюты на другую. Однако в их модели операционные издержки являются неслучайными. Таким образом, не учитывается риск, связанный с изменением обменных курсов, являющийся на сегодняшний день одним из важнейших финансовых рисков.

Понятие многомерных когерентных мер риска, учитывающее риск обменных курсов, введено в работе [75] и развито в [76]. В отличие от [73], матрица обменных курсов считается в [76] случайной. Помимо задачи измерения собственного риска портфеля, важной является задача распределения риска между несколькими частями портфеля (например, распределение риска портфеля большой фирмы между портфелями различных отделов этой фирмы). Задача распределения риска тесно связана с проблемой определения риска – вклада. Геометрическое решение этих задач для многомерных когерентных мер риска дано в работе [76]. Полученные результаты являются многомерными аналогами результатов из [76].

Фрактальный анализ финансовых временных рядов

Начиная еще с 1950-х годов среди специалистов хорошо был известен тезис о том, что *«движения цен большинства финансовых инструментов на разных масштабах времени и цены внешне похожи. По внешнему виду графика наблюдатель не может сказать, относятся ли данные к недельным, дневным или часовым изменениям» [77].* Указанное самоподобие на современном языке означает, что финансовые временные ряды являются *фракталами* [78]. Основной характеристикой таких структур, как известно, является фрактальная размерность Хаусдорфа–Безиковича D [79]. В случае хаотических временных рядов этот показатель определяет индекс Херста H ($D = 2 - H$, который является показателем персистентности (способности сохранять определенную тенденцию временного ряда. Однако для надежного вычисления D (а также H) требуется слишком большой репрезентативный масштаб, что исключает возможность использования D в качестве показателя, определяющего локальную динамику временного ряда.

Простейший способ вычисления фрактальной структуры *хаотических временных рядов*, имеющих крайне нерегулярный характер поведения, основан на вычислении клеточной размерности D_M (размерности Минковского) [79]. Для нахождения D_M плоскость, на которой определен график временного ряда, разбивается на клетки размером δ. Затем при различных δ строится функция $N(\delta)$, равная числу клеток размера δ, в которых содержится хотя бы одна точка графика. Размерность D_M определяется по углу наклона линии регрессии $N(\delta)$ в двойном логарифмическом масштабе.

Известно, что в общем случае $D_M \geq D$, но очень часто выполняется равенство $D_M = D$.

Для определения локальной динамики в работе [80] вводятся новые фрактальные показатели: *размерность минимального покрытия* D_μ и связанный с ней *индекс фрактальности* μ. Для нахождения D_μ график временного ряда покрывается прямоугольниками с основанием δ таким образом, чтобы это покрытие было минимальным по площадке, см. рисунок 2 [80].

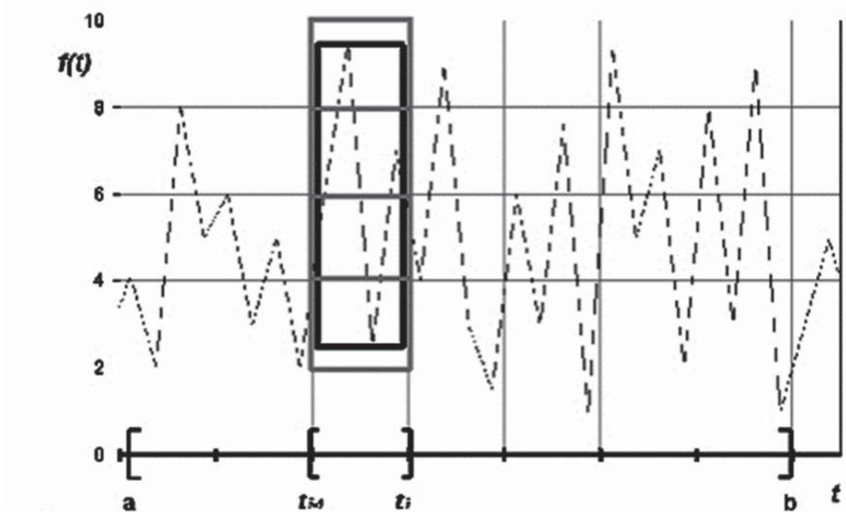

Рис.2. *Фрагмент клеточного (серый прямоугольник) и минимального (черный прямоугольник) покрытий графика фрактальной функции на отрезке* $[t_{i-1}, t_i]$. *Очевидно, что минимальное покрытие точнее клеточного.*

Тогда высота прямоугольника на отрезке $[t_{i-1}, t_i]$, $t_i < t_{i-1} = \delta$ $(i = 1, \ldots, m)$ будет равна амплитуде $A_i(\delta)$, которая равна разности между максимальным и минимальным значениями функции $f(x)$ на этом отрезке. где $f(x) -$ функция, определяющая график исследуемого временного ряда. Введем величину

$$V_f(\delta) \equiv \sum_{i=1}^{m} A_i(\delta). \tag{13}$$

Полную площадь минимального покрытия $S_\mu(\delta)$ можно записать в виде $S_\mu(\delta) = V_j(\delta) \cdot \delta$. Так как площадь аппроксимации покрытия прямоугольниками с основанием δ при $\delta \to 0$ удовлетворяет степенному закону

$$S(\delta) \sim \delta^{2-D} \text{ при } \delta \to 0,$$

то

$$V_j(\delta) \sim \delta^{-\mu} \text{ при } \delta \to 0, \tag{14}$$

где $\mu = D_\mu - 1$ и $D_\mu = D_M = D$. Однако, несмотря на последнее равенство, для реальных фрактальных функций минимальные и клеточные покрытия могут давать различные приближения величины $S(\delta)$ к асимптотическому режиму (13), причем это различие может быть весьма значительным. Величину μ естественно называть *индексом фрактальности*.

Исследование поведения ценовых рядов акций, проведенное в работе [81] на основе базы данных с 1970 г. по 2002 г. тридцати компаний, входящих в индекс Доу–Джонс (Dow Jones Industrial Index DJI I). Показало, что быстрый выход величины $V_f(\delta)$ на степенной асимптотический режим (13) позволяет вполне надежно вычислять индекс фрактальности μ и на малых интервалах. Дальнейшие исследования показали, что степенной закон для функции $V_f(\delta)$ выполняется с удивительной точностью на интервале масштабов времени от нескольких минут до нескольких лет. По этой причине репрезентативный масштаб, необходимый для определения размерности D_μ и связанного с ней индекса фрактальности μ с приемлемой точностью, содержит на два порядка меньше данных, чем масштаб для определения показателя Херста H. Это позволяет существенно продвинуться в решении двух основных задач анализа финансовых временных рядов – задачи идентификации и задачи прогноза.

Концепция фрактального рынка

Базовой моделью финансового временных рядов является модель случайного блуждания, которая впервые была построена Луисом Башелье [82] в 1900 г. (за пять лет до модели броуновского движения, предложенной Эйнштейном) и использована им для описания поведения цен акций на Парижской фондовой бирже. В результате переосмысления этой модели возникла концепция *эффективного* рынка (Effective Market Hypothesis, EMH), на котором цена в полной мере отражает всю доступную информацию. Для существования такого рынка достаточно предположить, что на нем действует большое число полностью информированных, рациональных агентов, имеющих однородные предпочтения, которые мгновенно корректируют цены, приводя их в состояние равновесия. Естественно, что основной моделью такого рынка является модель случайного блуждания. Все основные результаты классической теории финансов (портфельная теория, модель CAMP (Capital Asset Pricing Market), модель Блэка–Шоулза и др.) были получены в рамках именно такого подхода. В настоящее время концепция эффективного рынка все еще продолжает играть доминирующую роль и в финансовой теории, и в финансовом бизнесе [14].

Однако уже к началу 60-х годов прошлого века эмпирические исследования показали, что сильные изменения ряда доходностей происходят значительно чаще, чем следовало бы ожидать, исходя из нормального распределения, вследствие так называемой проблемы «толстых хвостов», причем такие изменения обычно следовали друг за другом, демонстрируя эффект кластеризации волатильности. Одним из первых, кто подверг всесторонней критике указанную концепцию, был Бенуа Мандельброт [23]. Действительно, если вычислить значение показателя Херста $H = 1 - \mu$ для какой-либо акции, то это значение скорее всего будет отлично от значения $H = 0{,}5$, соответствующего модели случайного блуждания.

В основе модели случайного блуждания лежат два постулата. Во-первых, приращение цены (или логарифмов приращений цены, которые рассматривались в различных модификациях модели Башелье [84,85]; указанное различие не является существенным) на любом интервале времени имеют нормальное (гауссово) распределение, которое следует из центральной предельной теоремы как результат суммирования достаточно большого числа независимых случайных величин с конечной дисперсией. Во-вторых, эти приращения на непересекающихся интервалах являются статистически независимыми. Именно отказ от первого постулата при сохранении второго привел Мандельброта к рассмотрению случайного процесса, который он назвал *полетом Леви* (Levi flight) [83]. Отказ от второго постулата при сохранении первого привел его к введению понятия *обобщенного броуновского движения* (Fractional Brownian Motion) [86]. Поведение временного ряда, для которого $H \neq 0{,}5$, можно описать с помощью любого из этих процессов. При этом в качестве идеологической базы обычно, используют *концепцию фрактального рынка* (Fractal Market Hypothesis, FMH), которую принято рассматривать в качестве альтернативы EMH. Эта концепция предполагает, что на рынке имеется широкий спектр агентов с разными инвестиционными горизонтами и, следовательно, с разными предпочтениями. Эти горизонты изменяются от одной минуты для *внутридневных* трейдеров до нескольких лет для банков и корпораций. Устойчивым положением равновесия на таком рынке является режим, при котором средняя доходность не зависит от масштаба, если не считать умножения на соответствующий масштабный коэффициент [83]. Поскольку указанный коэффициент имеет неопределенный степенной показатель

$$dP \sim (dt)^H. \quad (15)$$

(dP – изменение цены, соответствующее интервалу времени dt), то речь фактически идет о целом классе режимов, каждый из которых определяется своим значением показателя H. При этом значение $\mathrm{H} = 0{,}5$ оказывается вполне равноправным с любым другим значением $0 < \mathrm{H} < 1$.

Близкие соображения стали поводом для серьезных сомнений (см, например, [87,88]) относительно существования действительного равновесия на фондовом рынке, а следовательно, и относительно обоснованности теории финансов.

Для финансовых временных рядов специалисты выделяют три типа локальных состояний: тренд (направленное движение вверх или вниз), флэт (относительно стабильное состояние), случайное блуждание (промежуточное состояние между трендом и флэтом). Для того чтобы соотнести значение индекса фрактальности μ с состояниями финансового временного ряда, в [81] вводится функция $\mu(t)$ как такое значение μ, которое еще может быть вычислено с приемлемой точностью на минимальном, предшествующем t интервале τ_μ. В случае непрерывного аргумента t в качестве такого интервала можно было бы взять произвольно малый интервал. Однако поскольку на практике финансовый временный ряд всегда имеет минимальный масштаб (например, один день), то τ_μ имеет конечную длину.

На рис.3 [81] представлен типичный фрагмент ценового ряда для акций одной из компаний, входящих в индекс Доу – Джонса, вместе с вычисленной для этого фрагмента функций $\mu(t)$

Рис.3. *Ежедневные цены акций компании “Exxon Mobil Corporation” (японские свечи, правая шкала) и график функции $\mu(t)$ (сплошная кривая, левая шкала)*

Из рис.3 видно, что на интервале между 1-м и 39-м днем, где цены ведут себя относительно стабильно (флэт), $\mu(t) > 0{,}5$. Далее одновременно с развитием тренда на графике цен, $\mu(t)$ резко падает до значений, меньших 0,3. Наконец, после 56-го дня, когда цены находятся в промежуточном состоянии между трендом и флэтом, $\mu(t)$ возвращается к значению $\mu \approx 0{,}5$. Таким образом, исходный ряд оказывается тем стабильнее, чем больше μ. При этом если $\mu > 0{,}5$, то наблюдается флэт, а если $\mu < 0{,}5$, то наблюдается тренд. Наконец, если $\mu \approx 0{,}5$, то ряд находится в состоянии случайного блуждания, которое является промежуточным между трендом и флэтом. Теоретическое обоснование указанной корреляции приведено, например, в [89].

Исследование функции $\mu(t)$ на основе базы российских (входящих в индекс ММВБ) и американских (входящих в DJII) компаний вместе с соответствующими индексами за десять лет позволяет с очевидностью показать выделенность значения Н=0,5 [81]. На рис.4. [81] представлены типичные распределения вероятности значений индекса μ для временного ряда одной из акций, входящих в DJII, на участках с различной длительностью (от 8 до 256 дней). Все распределения являются асимметричными. Это означает, что в среднем значение индекса фрактальности для этой акции на соответствующих интервалах отлично от значения $\mu = 0{,}5$ (и, следовательно, Н=0,5). Однако, все указанные распределения имеют главную моду именно при $\mu = 0{,}5$.

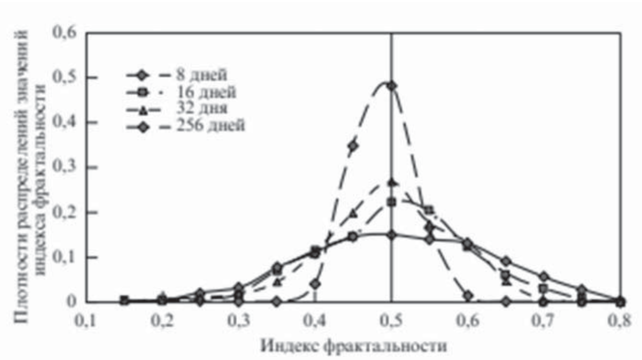

Рис.4. *Распределение вероятностей значения индекса μ для ряда дневных изменений цены акций компании "Ford" за период с 03.01.2000 г. по 30.11.2010г. (всего 2745 записей торговых дней, содержащих информацию о ценах открытия и закрытия, а также о максимальной и минимальной ценах за каждый день). Функция $\mu(t)$ рассчитывалась по предшествующим интервалам, содержащим от 8 до 256 значений, затем строились эмпирические плотности распределения по значениям μ в каждом случае*

В первом приближении общая картина, наблюдаемая во всех рядах, оказывается следующей. Функция $\mu(t)$ совершает квазипериодические колебания около положения $\mu = 0{,}5$ между значениями $\mu < 0{,}5$ и $\mu > 0{,}5$. При этом временной ряд непрерывно изменяет свой режим, переходя из тренда через состояние случайного блуждания во флэт и обратно. Время от времени для каждого ряда появляются и исчезают состояния с относительно стабильными значениями μ (см. рис.3). Среди таких состояний режим $\mu = 0{,}5$ занимает явно привилегированное положение. Для каждого временного ряда он является самым длительным на всех интервалах, содержащих 8 и более точек. Неизменный характер указанных колебаний воспроизводится на всех масштабах, начиная от самых малых. При этом основным состоянием является именно случайное блуждание, которое остается главным режимом притяжения на всех масштабах.

При прогнозировании будущего поведения временного ряда особый интерес представляет задача определения ранних предвестников критического поведения ряда. Один из подходов к решению этой задачи состоит в следующем [81]. На основе (13) вводится средняя амплитуда $A(\delta)$ по формуле

$$A(\delta) \equiv < A(\delta) > = m^{-1} V_f(\delta) \tag{16}$$

Умножая (13) на $m^{-1} \sim \delta$ и подставляя в (14), получим

$$A(\delta) \sim \delta^{H_\mu} \text{ при } \delta \to 0, \tag{17}$$

где $H_\mu \equiv 1 - \mu$. Сопоставляя H_μ с рис.3, мы получаем подтверждение того, что этот индекс является показателем персистентности временного ряда и прямым обобщением показателя Херста для случая малых интервалов.

Степенная функция в (17) обладает особым свойством: чем медленнее она уменьшается (по сравнению с функцией с другим степенным показателем) при $\delta \to 0$, тем быстрее она возрастает при $\delta \to \infty$. Отсюда следует, что изменение режима системы, связанное с резким уменьшением μ (увеличением показателя H_μ), приводит в дальнейшем к подавлению мелкомасштабных колебаний и одновременно к увеличению крупномасштабных колебаний ряда. Это означает, что *резкое уменьшение мелкомасштабных колебаний в настоящем при определенных условиях может стать предвестником сильных крупномасштабных колебаний в будущем.*

По существу, указанный эффект увеличения крупномасштабных колебаний при уменьшении мелкомасштабных означает, что тенденции в сложных системах (природных, социальных и технологических), формирующиеся очень медленно и незаметно, но имеющие повышенную неуклонность, со временем часто становятся глобальными, определяя основной вектор развития таких систем. Следует отметить, что данный эффект аналогичен явлению самоорганизованной критичности [90], а хорошо известный *эффект затишья* (подавление высокочастотной компоненты шума), который обычно предшествует природным катастрофам (например, землетрясениям), является частным проявления указанного эффекта.

Модель изменения цен (15) можно охарактеризовать как *унифрактальную* (монофрактальную), имеющую постоянный показатель Херста. Напротив, предложенную Б.Мандельбротом в работе [91] модель

$$P(t+dt) - P(t) \sim (dt)^{H(t)}, \tag{18}$$

где показатель $H(t)$ непрерывно изменяется со временем и принимает *множество* значений, можно характеризовать как *мультифрактальность* с переменным показателем Херста.

В последующей работе [92] Мандельброт приходит к ключевой идее: можно отказаться от выражения цены с помощью переменного показателя, основанного на обычном времени, которое показывают часы, а представить себе изменчивость с постоянным показателем, но в «биржевом времени, которое течет в очень неправильном ритме. Эта концепция совершенно законна, поскольку, как и большая часть человеческой деятельности, биржа не подчиняется времени, которое измеряют физические часы; совсем наоборот, ее активность постоянно то ускоряется («разогревается»), то замедляется («охлаждается»).

В вышеуказанной работе Мандельброт указывает на опрометчивость предложенного в [78] и первом издании книги [77] «наглядного» или «тактического» математического определения концепции фрактала: множество E фрактально, если два числа D_{HB} и D_T, которое можно сопоставить любому множеству, удовлетворяют неравенству

$$D_{HB} > D_T, \qquad (19)$$

где D_{HB} –размерность Хаусдорфа–Безикова, и величина D_T представляет собой топологическую размерность $D_T = 0{,}1{,}2{,}3$ для точки, прямой, квадрата и куба, соответственно.

Однако существенные недостатки этой концепции, ставшие вскоре явными, заставили Мандельброта отказаться во втором издании книги [77] от этого определения. Тем не менее его продолжают цитировать, а оно продолжает сбивать всех с толку.

По определению [92], некоторая функция $y = f(x)$ обладает *диагональной самоаффинностью*, если ее редуцированная форма, полученная сжатием графика функции в отношении r_x по аргументу x и в каком – либо другом отношении r_y по y, будет полностью идентична (точно или только статистически) любой ее части, менее протяженной во времени. Такое аффинное преобразование называется диагональным, так как его матрица имеет только диагональные элементы, не равные между собой.

На основе этого определения, в [92] дается набросок моделей, образованных самоаффинными рекурсивными конструкциями. Используя интервалы, проекции которых равны x_m и y_m, можно всегда определить величину D_T как положительный корень следующего фундаментального порождающего уравнения

$$\sum_m |y_m|^{D_T} = 1. \qquad (20)$$

Тогда рисунок, образованный x_m и y_m, должен будет ассоциировать с другим «укороченным» рисунком, образованным интервалами y_m и

$$x_m^* = |y_m|^{D_T}. \qquad (21)$$

По самому своему построению эта модель будет унифрактальной с показателем

$$H_T = 1/D_T. \qquad (22)$$

Время, на которое она ссылается, будет биржевым временем. Оно изменяется пропорционально x_m^*, тогда как обыкновенное время (время, которое показывают часы) изменяется пропорционально x_m. Выполнив рекурсивную интерполяцию, получаем, что биржевое время, если отсчитывать его в единицах обыкновенного времени, представляет собой функцию, которая будет не только возрастающей (что разумеется само собой), но и мультифрактальной с показателем

$$H_m = \log y_m / \log x_m. \qquad (23)$$

Унифрактальность означает те случаи, когда все H_m идентичны, а мультифрактальность – противоположные случаи.

Таким образом, из вышеизложенного можно сделать следующий вывод: мультфрактальные модели могут быть представлены в виде унифрактальных моделей, изменяющихся в мультифрактальном биржевом времени с постоянным показателем Херста, определяемым формулой (22).

Заключение. Результаты теоретических и экспериментальных исследований показал, что увеличение крупномасштабных колебаний временных рядов при уменьшении мелкомасштабных в настоящем при определенных условиях может стать прекурсором (предвестником) сильных крупномасштабных колебаний в будущем. Частным проявлением этого эффекта является хорошо известный эффект затишья (подавление высокочастотной компоненты шума), который обычно предшествует природным катастрофам.

Полученные мультфрактальные модели могут быть представлены в виде унифрактальных моделей, изменяющихся в мультифрактальном биржевом времени с постоянным показателем Херста.

Получена новая модель поведения финансовых цен, в соответствии с которой мультифрактальные модели финансовых временных рядов могут быть представлены в виде унифрактальных моделей, изменяющихся в мультифрактальном биржевом времени.

REFERENCES

71. **Kabanov Yu.M.** Hedging and liquidation under transaction costs in currency markets // Finance Stoch, 1999, v.3. №2, p.237-248.
72. **Kabanov Y.M., Sticker Ch.** The Harrison –Pliska arbitrage pricing theorem under transaction costs. /J.Math. Econom., 2001, v.35, №2, p.185-196.
73. **Jouini E., Meddev M., Touzi N.** Vector – valued ciherent risk measures // Finance Stoch., 2004, v.8, №4, p.531-552.
74. **Cascos I., Molchanov I.** Multivariate risks and depth – trimmed regions. // Finance Stoch, 2007, v.11, №3, p.373-397
75. **Hamel A.H., Heyde F., Höhne M.** Set-valued measures of risk. Preprint №15-2007. Halle: Martin Luther-Universtät Halle – Wittenberg, Institut für Mathematik, 2007
76. **Kulikov A.V.** Mnogomernye kogerentnye i vypuklye mery riska // Teoriya verojatnosti i ee primeneniya, 2007, t.52, vyp.4.s.685-710.

    Куликов А.В. Многомерные когерентные и выпуклые меры риска // Теория вероятности и ее применения, 2007, т.52, вып.4.с.685-710.
77. **Mandelbrot B.B.** The Fractal Geometry of Nature (San Francisco: W.H. Freeman 1982)
78. **Mandelbrot B.** Les objects fractals (Paris: Flammarion, 1975) [Fractals (San Francisco: W.H.Freeman, 1977)].
79. **Kronover R.M.** Fraktaly i haos v dinamicheskih sistemah. Osnovy teorii. – M.:Postmarket, 2000.-352s.

    Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. – М.:Постмаркет, 2000.-352с.
80. **Starchenko N.V.** Indeks fraktalnosti i lokalnyj analiz haoticheskih vremennyh ryadov. Dis.na soisk. Uch. Step.kand. fiz.-mat. Nauk. – Moskva: Moskovskij inzhenerno-fizicheskij institut (gosudarstvennyj universitet), 2005.

    Старченко Н.В. Индекс фрактальности и локальный анализ хаотических временных рядов. Дис.на соиск. Уч. Степ.канд. физ.-мат. Наук. – Москва: Московский инженерно-физический институт (государственный университет), 2005
81. **Dubovikov M.M., Starchenko N.V.** Ekonofizika i fraktalnyj analiz finansovyh vremennyh ryadov // Uspehi fizicheskih nauk, 2011, t.181, №7, s.779-786.

    Дубовиков М.М., Старченко Н.В. Эконофизика и фрактальный анализ финансовых временных рядов // Успехи физических наук, 2011, т.181, №7, с.779-786.
82. Bachelier L/ in the Random Character of Stock Market Prices (Ed. P.H. Cootner) (Cambridge, Mass: M.I.T. Press. 1964) p.17.
83. Mandelbrot B.J. The variation of certain speculative prices // Business 36 394 (1963)
84. **Kendal M.G.R.** // Statistical Soc. 96 11 (1953)
85. **Samuelson P.A.** Industrial Management Rev. 6 (13) 1965
86. **Mandelbrot B.B., Van Ness J.W.** // SIAM Rev. 10 422 (1968).
87. **Shiryaev A.N.** // Obozrenie priklad. i promysh. mat, 1 780 (1994)

Ширяев А.Н. // Обозрение приклад. и промыш. мат, 1 780 (1994)

88. **Polterovich V.M.** // Ekonomicheskaya nauka sovremennoj Rossii (1) 46 (1998)

Полтерович В.М. // Экономическая наука современной России (1) 46 (1998)

89. **Dubovikov M.M., Starchenko N.S., Dubovikov M.S.** Dimension of the minimal cover and fractal analysis of time series // Physica. 2004. A 339. P. 591 – 608.

90. **Bak P., Tang C., Wiesenfeld K.** Self – organized critically: An explanation of 1/f nois // Phys. Rev. Lett. 1987, v.59

91. **Mandelbrot B.B.** (1972). Correction of an error in "The variation of cermain speculative prices (Mandelbrot, 1963. Journal of Business) 40, 542-543.

92. **Mandelbrot B.B.** Fraktaly, sluchaj i finansy (1959-1977) – Moskva-Izhevsk, 2004, 256 c. (Benoit Mandelbrot Fractales, Hasard et Finance (1959-1977), Flammarion, 1997).
Мандельброт Б.Б. Фракталы, случай и финансы (1959-1977) – Москва-Ижевск, 2004, 256 с.

EKONOFİZİKA – STATİSTİK FİZİKANIN KONSEPSİYASININ TƏTBİQİ İLƏ RİYAZİ İQTİSADİYYATIN YENİ METODU

R.G. VƏLİYEV, O.A. DIŞİN, A.Ə. CANƏHMƏDOV

Fond və valyuta bazarlarının təsviri üçün kvant statistikası, orta qeyri xətti və riskin koqerent dərəcəsi metodlarından istifadəsi ilə ekonofizika qanunlarının tətbiqinin üstünlüyünün analizi verilib. Səmərəli və özü nizamlanan bazarın fərziyyəsinə alternativ müasir maliyyə nəzəriyyəsinin ideoloji bazası və maliyyə biznesi kimi fraktal bazarın konsepsiyasını araşdırmağa imkan verən fraktal göstəricilər əsasında maliyyə müvəqqəti sıraların xasiyyətinin tədqiqinin imkanları göstərilib.

Açar sözlər: *ekonofizika, fraktal bazar, birja vaxtı, fraktal indeksi, kvant iqtisadiyyatı.*

ECONOPHYSICS – THE NEWEST METHOD OF MATHEMATICAL ECONOMY WITH USE OF CONCEPTS OF STATISTICAL PHYSICS

R.Q. VELIEV, O.A. DYSHIN, A.A. JANAHMADOV

The analysis of advantages of application of laws of econophysics with use of methods of quantum statistics, nonlinear averaging and coherent measures of risk for the description of the stock and foreign exchange markets is given. Possibilities of a research in the behavior of financial temporary ranks on the basis of their fractal indicators, allowing to consider the concept of the fractal market alternative to a hypothesis of the effective and self-regulating market as ideological base of the modern financial theory and the financial business, are shown.

Keywords: *econophysics, fractal market, exchange time, index of fractality, quantum economy.*