РАЗДЕЛ XIV. ЭКОНОМИКА

Половников Д.С., Колпаков И.Ю.

Показатель Хёрста в техническом анализе фондовых рынков

ФГБОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»
(Россия, Пермь)

doi: 10.18411/lj-04-2019-170

idsp: ljjournal-04-2019-170

Аннотация

В техническом анализе все чаще применяется теория фрактального рынка. Одним из используемых методов является метод R/S-анализа, позволяющий выявить тренд и дать информацию о его устойчивости. В статье приведен алгоритм проведения R/S-анализа для вычисления показателя Хёрста, являющегося индикатором трендоустойчивости рынка, и рассмотрен пример его применения для курса валют RUB/USD.

Ключевые слова: экономика, R/S-анализ, показатель Хёрста.

Abstract

The theory of the fractal market is increasingly used in technical analysis. One of the methods used is the R / S analysis method, which allows to identify a trend and provide information about its stability. The article presents an R / S analysis algorithm for calculating the Hurst indicator, which is an indicator of market trend stability, and an example of its use for the RUB / USD exchange rate is considered.

Keywords: economy, R / S-analysis, Hurst's indicator.

Введение

Как известно, структуры многих физических объектов имеют фрактальную природу, т.е. обладают повторяющейся в широком диапазоне масштабов геометрией. Для описания структур, состоящих из частей, подобных целому, был введен термин «фрактал». Фракталы в природе можно встретить среди снежинок, кораллов, раковин и т.д. Кроме геометрической формы объектов, фрактальной структурой обладают также характеристики процессов, изменяющиеся во времени. Так, временные ряды представляют собой целый класс кривых, используемых для описания и моделирования различных явлений, протекающих в средах с фрактальной структурой [1].

Широкое применение в приложениях получили теории фракталов и мультифракталов. Уже несколько лет ряд ученых поддерживает гипотезу фрактального рынка. Если рассматривать временные ряды котировок фондового рынка, то в них также можно обнаружить фрактальное поведение.

При исследовании фракталов важной количественной характеристикой повторяемости геометрии объекта является его фрактальная размерность. В физическом смысле, это размерность, при которой мера множества изменяет свое значение с 0 на ∞ . Она характеризует то, как множество заполняет пространство и описывает структуру предмета при изменении масштаба.

Фрактальная размерность временного ряда фондового рынка позволяет определить, является ли процесс детерминистическим (описывается гладкой кривой, $D = 1$) или случайным ($D = 1.5$). Последний подчиняется закону нормального распределения, тогда как при значениях отличных от 1.5 распределение колебаний сильно отличается от гауссовой статистики [2].

Написано достаточно статей, посвященных фрактальной размерности. Например, в работе [3] рассматривается метод R/S-анализа и вопрос трактовки оценки показателя

Хёрста относительно будущих приростов ряда. В статье [4] показана зависимость данного показателя от масштаба временного ряда.

МЕТОД R/S-АНАЛИЗА

Этот метод был предложен Г. Э. Хёрстом при исследовании разливов Нила в практических целях для определения размеров плотины. Показатель Хёрста H определяется в терминах асимптотического поведения масштабированного диапазона как функции отрезка времени временного ряда и записывается следующим образом:

$$R/S = (c \cdot N)^H, \quad (1)$$

где R/S – нормированный размах; N – число наблюдений; c – константа; H – показатель Хёрста.

Показатель Хёрста может принимать следующие значения:

- $0 \leq H < 0.5$ – розовый шум. Характеризует антиперсистентный ряд с сильной зашумленностью.
- $H = 0.5$ – белый шум. Характеризует броуновское движение, описываемое кривой нормального распределения.
- $0.5 < H \leq 1$ – черный шум. Характеризует персистентный ряд с низкой зашумленностью. График такого ряда близок к гладкой кривой.

Рассмотрим алгоритм для вычисления показателя Хёрста:

1. Ряд из $N+1$ наблюдений преобразуется в логарифмический ряд приращений:

$$n_i = \ln \left(\frac{N_{i+1}}{N_i} \right), i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (2)$$

2. Полученный ряд из N элементов разбивается на группы по k элементов ($k \geq 10$) путем целочисленного деления N . В каждой группе вычисляется среднее арифметическое значение:

$$\bar{n}_k = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k n_i. \quad (3)$$

3. Рассчитывается стандартное отклонение по каждой группе:

$$S_k = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^k (n_j - \bar{n}_k)^2}. \quad (4)$$

4. Рассчитывается величина размаха:

$$R_k = \max(D_{k,m}) - \min(D_{k,m}), k \leq m, \quad (5)$$

где $D_{k,m}$ – накопленные отклонения:

$$D_{k,m} = \sum_{j=1}^k (n_j - \bar{n}_k), k = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (6)$$

5. В качестве нормированного размаха для данного разбиения берется отношение средних величин размаха и стандартного отклонения:

$$\left(\frac{R}{S} \right)_k = \frac{\bar{R}_k}{\bar{S}_k}, \quad (7)$$

$$\text{где } \bar{R}_k = \frac{\sum_{l=1}^{N/k} R_{lk}}{(N/k)}, \bar{S}_k = \frac{\sum_{l=1}^{N/k} S_{lk}}{(N/k)}.$$

6. Когда $\left(\frac{R}{S}\right)_k$ найдено для набора из групп по k элементов, для данного разбиения рассчитывается показатель Хёрста, полученный из формулы (1):

$$H_k = \frac{\ln(R/S)_k}{\ln(ck)}. \quad (8)$$

7. Ищется следующий делитель N такой, что для $(i+1)$ -го разбиения $k_{i+1} > k_i$. Далее алгоритм повторяется для нового k .
8. Для полученного набора данных строится уравнение линейной регрессии, в котором зависимой переменной выступает $\ln(R/S)$, а факторным признаком $\ln(k)$:

$$\ln((R/S)_k) = C + H \cdot \ln(k), \quad (9)$$

где $C = H \cdot \ln(c)$. Параметры уравнения (9) линейной регрессии находятся методом наименьших квадратов.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЯ ХЁРСТА

В качестве исследуемого временного ряда рассмотрим динамику изменения курса RUB/USD за период с 23.01.2015 по 14.03.2019. Всего 1025 уровней временного ряда, каждому из которых соответствует цена закрытия дневных торгов (Табл. 1). Данные взяты с официального сайта ЦБ РФ [7]. В ходе исследования будут также представлены промежуточные расчеты и примеры вычислений.

Таблица 1.

Динамика курса RUB/USD [7]

23.01.2015	65,4000
24.01.2015	63,3930
27.01.2015	65,5937
...	
12.03.2019	66,0763
13.03.2019	65,7674
14.03.2019	65,5890

Для исследования было взято именно столько значений, поскольку после логарифмирования отношения текущего уровня к предыдущему в полученном временном ряде будет уже 1024 уровня, которые удобно разбивать на группы с количеством элементов кратным 2 в степени от 4 до 9 (Табл. 2).

Таблица 2.

Логарифмический ряд приращений из 1024 уровней

n_i	$\log_2(n_{i+1} / n_i), (i = \overline{1,1024})$
65,4000	-
63,3930	-0,04497
65,5937	0,04923
67,8153	0,04805
...	
66,0763	0,00244
65,7674	-0,00676
65,5890	-0,00392

Разобьем полученный ряд на группы по 16 элементов. Всего 64 группы (Табл. 3).

Таблица 3.

Разбиение ряда на группы по 16 элементов

n_{ij}^{16}	1	2	3	...	62	63	64
1	-0,04497	-0,05473	-0,04015	...	-0,00022	0,00028	-0,00098
2	0,04923	0,00396	0,00843		0,01346	0,00897	-0,00755
3	0,04805	-0,01003	0,01947		-0,00106	-0,00528	-0,00695
...	...	...	...		...	...	...
14	0,01342	-0,04386	-0,02024		-0,00474	0,01887	0,00244
15	0,00089	0,01605	0,01750		-0,00721	0,00350	-0,00676
16	-0,02228	0,04714	-0,03411		-0,00185	-0,00993	-0,00392
$\bar{n}^{16}$	-0,00043	-0,00342	-0,00858		-0,00397	0,00045	-0,00094

Далее вычислим для каждой группы среднее квадратическое отклонение и максимальный размах накопленных отклонений. Для этого составим вспомогательную таблицу 4 для первой группы ряда.

Таблица 4.

Вспомогательные данные группы, содержащей 16 первых элементов ряда

n_i^{16}	$\bar{n}$	$n_i - \bar{n}$	$(n_i - \bar{n})^2$	$D_{i,n}$
-0,04497	-0,00043	-0,04453	0,0019832	-0,04453
0,04923		0,04967	0,0024669	0,00513
0,04805		0,04848	0,0023510	0,05362
-0,01421		-0,01378	0,0001898	0,03984
0,03355		0,03398	0,0011546	0,07382
0,00417		0,00460	0,0000212	0,07843
0,01533		0,01576	0,0002476	0,09416
-0,03971		-0,03928	0,0015426	0,05488
-0,05038		-0,04994	0,0024944	0,00494
0,06812		0,06855	0,0046995	0,07349
-0,05504		-0,05467	0,0029814	0,01889
-0,00572		-0,00529	0,0000280	0,01360
-0,00736		-0,00693	0,0000480	0,00667
0,01342		0,01385	0,0001919	0,02053
0,00089		0,00132	0,0000018	0,02185
-0,02228		-0,02185	0,0004775	0

Накопленные отклонения из Табл. 4 вычислили по формуле (6). Для упрощения расчетов можно рассчитать отклонения следующим образом:

$$D_{k,m} = \sum_{j=1}^k n_k - k \bar{n} \quad (10)$$

$$D_{m,m} = \sum_{j=1}^m n_k - m \bar{n} = \sum_{j=1}^m n_k - m \frac{\sum_{j=1}^m n_k}{m} = 0.$$

При этом стоит учитывать, что

$$D_{1,16} = (-0,04497) - (-0,00043) = -0,04454;$$

$$D_{2,16} = (-0,04497) + 0,04923 + 2 \cdot (-0,00043) = 0,00513;$$

...

$$D_{16,16} = (-0,00694) + 16 \cdot (-0,00043) = 0.$$

Из ряда накопленных отклонений выбираем максимальное и минимальное и находим их разность:

$$D_{\max} = \max(D_{i,16}) = 0,09416;$$

$$D_{\min} = \min(D_{i,16}) = -0,04453;$$

$$R = D_{\max} - D_{\min} = 0,09416 - (-0,04453) = 0,13869.$$

Аналогично находим размах отклонения и среднее квадратическое отклонение для остальных групп (Табл. 5).

Таблица 5.

Нормированный размах для разбиения на группы по 16 элементов

	1	2	3	...	62	63	64
R	0,13869	0,07322	0,08276	...	0,04730	0,02447	0,02607
S	0,03612	0,02777	0,02226	...	0,01309	0,00803	0,00422
$\bar{R}_{16}$	0,05512						
$\bar{S}_{16}$	0,01377						
$\bar{R}_{16}/\bar{S}_{16}$	4,00308						

Далее весь массив разбивается на группы по 32, 64, 128, 256 и 512 элементов. Для каждого разбиения весь процесс повторяется. Если полученные данные (Табл. 6) прологарифмировать, то можно получить зависимость близкую к линейной, что хорошо прослеживается на графике.

Таблица 6.

Нормированный размах R/S для разбиений по k элементов.

k	16	32	64	128	256	512
R/S	4,00308	5,91221	8,12499	13,65470	19,62025	35,41332
$\log_2(k)$	4	5	6	7	8	9
$\log_2(R/S)$	2,00111	2,56367	3,02237	3,77133	4,29427	5,14622

При помощи метода наименьших квадратов построим регрессионную модель. Искомые коэффициенты найдем по формулам [5]:

$$H = \frac{n \sum_{i=1}^n \log_2(k_i) \cdot \log_2((R/S)_i) - \sum_{i=1}^n \log_2(k_i) \cdot \sum_{i=1}^n \log_2((R/S)_i)}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\log_2(k_i))^2 - \left(\sum_{i=1}^n \log_2(k_i) \right)^2}, \quad (11)$$

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n (\log_2(k_i))^2 \cdot \sum_{i=1}^n \log_2((R/S)_i) - \sum_{i=1}^n \log_2(k_i) \cdot \log_2((R/S)_i) \cdot \sum_{i=1}^n \log_2(k_i)}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\log_2(k_i))^2 - \left(\sum_{i=1}^n \log_2(k_i) \right)^2}. \quad (12)$$

Подставляя известные данные, получим:

$$H = \frac{6 \cdot (4 \cdot 2,001 + \dots + 9 \cdot 5,146) - (4 + \dots + 9)(2,001 + \dots + 5,146)}{6 \cdot (16 + \dots + 81) - (4 + \dots + 9)^2} = \frac{64,999}{105} = 0,61904,$$

$$C = \frac{(16 + \dots + 81) \cdot (2,001 + \dots + 5,146) - (4 \cdot 2,001 + \dots + 9 \cdot 5,146)(4 + \dots + 9)}{6 \cdot (16 + \dots + 81) - (4 + \dots + 9)^2} = \frac{-58,725}{105} = -0,55725.$$

Уравнение линейной регрессии примет вид:

$$\log_2(R/S) = -0,55725 + 0,61904 \cdot \log_2(k), \quad (13)$$

Умножив все выражение на $\log_2 e$, получим уравнение (9):

$$\ln((R/S)_k) = -0,80394 + 0,61904 \cdot \ln(k), \quad (14)$$

где показатель Хёрста $H = 0,61904$. Далее рассчитаем коэффициент детерминации для данной регрессии, F-статистику и t-критерий оценки параметра [6]. Для полученной регрессии рассчитаем коэффициент детерминации и F-статистику по формулам:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^6 (\log_2(R/S)_i^{\text{факт}} - \log_2(R/S)_i^{\text{расч}})^2}{\sum_{i=1}^6 (\log_2(R/S)_i^{\text{факт}} - \log_2(R/S)_{cp})^2}, \quad (15)$$

где $\log_2(R/S)_i^{\text{факт}}$ - фактическое значение из Табл. 6, $(R/S)_i^{\text{расч}}$ - значение, рассчитанное по формуле (13), $\log_2(R/S)_{cp}$ - среднее арифметическое для фактических значений.

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m}{m - 1}, \quad (16)$$

где n - количество наблюдений (для полученной Табл.6 $n = 6$), m - количество параметров модели (для полученной модели $m = 2$).

$$t_H = \frac{H}{S_H}, \quad (17)$$

где

$$S_H = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{S_x^2}}, \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{RSS}{n - m},$$

$$RSS = \sum_{i=1}^6 (\log_2(R/S)_i^{\text{факт}} - \log_2(R/S)_{cp})^2 - \sum_{i=1}^6 (\log_2(R/S)_i^{\text{расч}} - \log_2(R/S)_{cp})^2.$$

Подставив в формулы (15), (16), (17) данные, получим при $\alpha = 0,01$:

$$R^2 = 0,992, \quad F = 251,22 > K_{табл} = x_{1-0,01}[F(2-1,6-2)] = 21,2, \quad t = 22,288 > t_{табл} = t_{1-0,01}[St(6-2)] = 9,925, \quad \text{следовательно, найденный показатель Хёрста } H \text{ и само уравнение статистически значимы.}$$

Полученный показатель Хёрста $H = 0,619 > 0,5$, соответствует персистентному ряду. Таким образом, можно сделать предположение, что дальнейшее изменение курса RUB/USD будет соответствовать текущей тенденции и резкое изменение направления тренда маловероятно.

Проверить гипотезу о персистентности временного ряда можно путем перемешивания массива данных. Так как H зависит от порядка элементов в массиве, после данной операции показатель должен сильно измениться в сторону уменьшения. В показанном примере данные были перемешаны несколько раз, и было установлено, что в среднем H лежит в диапазоне от 0,2 до 0,3. При этом показатель Хёрста и уравнение регрессии были статистически значимы.

Заключение

Показатель Хёрста является надежным индикатором трендоустойчивости рынка и может применяться не только к валютам, но и к индексам, акциям и прочим активам. Однако стоит учитывать, что для анализа необходим достаточно большой объем данных, чтобы исключить флуктуации. Кроме того, следует иметь в виду, что показатель Хёрста не дает информации о направлении тренда и знаке будущих приращений, однако, может дать информацию об их величине: чем ближе H к единице, тем меньше по абсолютной

величине возможно будущее отклонение. Таким образом, показатель Хёрста можно расценивать еще и как меру риска для инвестора фондового рынка.

1. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. – 262 с.
2. Колпаков И.Ю., Половников Д.С. Эконофизика и ее применение в анализе фондовых рынков // Международный научный студенческий вестник. 2019. №1.
3. Пучков А. А. Прогнозируемость фондовых индексов с помощью константы Херста // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. 2011. №7.
4. Калуш Ю. А., Логинов В. М. Показатель Херста и его скрытые свойства // Сибирский журнал индустриальной математики. 2002. т. 5, № 4, 29–37 с.
5. Стрыгин А. Ю. Анализ фрактальных свойств финансово-экономических процессов в экономике РФ // Санкт-Петербург, Государственный университет, Высшая школа экономики. 2004. – 104 с.
6. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с.
7. https://www.cbr.ru/currency_base/dynamics/?UniDbQuery.Posted=True&UniDbQuery.mode=1&UniDbQuery.date_req1=&UniDbQuery.date_req2=&UniDbQuery.VAL_NM_RQ=R01235&UniDbQuery.FromDate=23.01.2015&UniDbQuery.ToDate=13.03.2019

Резник К.Н., Рябцева А.С., Гумерова Р.А.

Федеральная таможенная служба как орган обеспечения экономической безопасности страны

*ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет»
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/lj-04-2019-171

idsp: ljjournal-04-2019-171

Аннотация

Федеральная таможенная служба является органом исполнительной власти, который наделен полномочиями не только в правоохранительной сфере, но и в экономической. Регулирование экономической безопасности осуществляется разнообразными методами. В статье проанализирована статистика по количеству возбужденных дел на основании материалов, полученных Федеральной таможенной службой, результаты которых подтверждают важность и актуальность рассматриваемой темы.

Ключевые слова: Федеральная таможенная служба, экономическая безопасность, функции Федеральной таможенной службы, тарифное регулирование, нетарифное регулирование.

Abstract

The Federal Customs Service is an executive authority that is vested with powers in law enforcement and in the economic sphere. The regulation of economic security is carried out by various methods. There are analyzed statistics in article on the number of cases initiated on the basis of materials received by the Federal Customs Service, the results of which confirm the importance and relevance of the topic under consideration.

Keywords: Federal Customs Service, economic security, functions of the Federal Customs Service, tariff regulation, non-tariff regulation.

После подписания Указа про вопросы Министерства финансов Российской Федерации Президентом Российской Федерации 15 января 2016 года Федеральная таможенная служба России перешло из прямого подчинения Председателя Правительства Российской Федерации в подчинение Министерства финансов Российской Федерации.

Основная миссия деятельности Федеральной таможенной службы направлена не только на правоохранительные особенности данной службы, но также и на