

## НОВАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ МЕРА ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОНДОВЫХ РЫНКОВ

Л.Н. Каваленя

ФГБОУ ВПО «Государственный университет  
Министерства финансов РФ», г. Москва

Рецензент д-р экон. наук, профессор Н.А. Сердюкова

**Ключевые слова и фразы:** агентное моделирование; гипотеза эффективного рынка; количественные меры информационной эффективности ценообразования.

**Аннотация:** Исследована проблема количественной оценки информационной эффективности фондовых рынков. Обоснована возможность использования для этой цели анализа торговых операций инвесторов. Выдвинута гипотеза об экспоненциальном распределении тикового времени между операциями рациональных инвесторов на эффективном рынке. Соответствие реального поведения инвесторов данной модели предложено положить в основу количественной меры информационной эффективности фондовых рынков.

*Важно найти меру, характеризующую, насколько хорошо работает рынок <....> мы найдем, что существуют точные меры эффективности, точно так же, как это присуще термодинамике или инженерии.*

*Dacorogna, Muller,  
Olsen and Pictet 2001*

Для количественной оценки рыночной эффективности традиционно используется два вида статистических «носителей».

1. Меры предсказуемости финансовых временных рядов.

Идея заключается в выявлении линейных и нелинейных зависимостей, присутствующих в финансовых временных рядах. На этом построено огромное число тестов соответствия динамики цен модели *математического случайного блуждания* и, следовательно, слабой форме гипотезы эффективного рынка (ГЭР).

---

Каваленя Леонид Николаевич – аспирант кафедры «Фондовые рынки» ФГБОУ ВПО «Государственный университет Министерства финансов РФ», главный актуарий страховой компании «Основа», e-mail: leonardokavaleni@ya.ru, г. Москва.

## 2. Bid-ask spread в связке с волатильностью цен.

Данная мера использует эмпирическое наблюдение: чем развитее рынок, тем ниже спред (spread) и волатильность актива. Рост этих показателей свидетельствует о появлении информации, которую коллективный разум рынка еще не «переработал в равновесную котировку», а значит, может присутствовать возможность арбитража, и соответственно рынок не эффективен по ГЭР.

Оба указанных направления «прямого замера эффективности» обладают существенными недостатками. Самый главный – их **оценка неустойчива** для нестационарных временных рядов. А финансовые ряды, как правило, таковые и есть. Это крайне усложняет интерпретацию получаемых результатов статистических тестов. Например, используя одни тесты, можно обосновать, что ценообразование на российских биржах неэффективно [6,7,11], используя другие – обосновать «эффективность» [5, 9, 10]. А при большом желании можно даже доказать тезис, что «американский рынок практически менее эффективен сравнительно с периферийным российским» [8].

Мы предлагаем принципиально иной подход для определения степени рыночной эффективности. Вместо исследования *динамики цен* на соответствие некоторой модели ценообразования, мы предлагаем анализировать *действия участников торгов* на соответствие модели поведения рационального инвестора. Таким образом, предлагаемый ниже алгоритм является косвенным способом «замера эффективности».

Идея заключается в следующем. С позиций современной ГЭР, цены активов *могут случайно* отклоняться в любую сторону от своих равновесных значений [3, с. 147]. Отклонение отражает величину воздействующих на актив факторов, которые коллективный разум рынка «еще не научился» прогнозировать. Факторов, влияющих на цену, много. Кроме того, вес каждого из «неучтенных» факторов сравнительно мал (нет доминирующих), а значит, по центральной предельной теореме величина их совокупного влияния на цену актива должна иметь *нормальное распределение*. В формальной записи

$$X_t = X_e + \varepsilon, \quad (1)$$

где  $X_t$  – цена актива на бирже во время  $t$ ;  $X_e$  – равновесная цена;  $\varepsilon \sim N(0; \sigma_e)$ .

Если это свойство будет выполняться (рынок – эффективный), то для риск-рационального<sup>1</sup> инвестора в каждый момент времени должно иметь равную ожидаемую полезность как «закрытие позиции», так и ее сохранение до момента следующего «пересмотра портфеля». В пользу сохранения будет только наличие спреда и брокерских расходов

$$p = 0,5 - f(\varepsilon; s; D), \quad (2)$$

где  $p$  – вероятность закрытия позиции за время  $\tau$ ;  $\varepsilon \sim N(0; X_t - X_e)$ ;  $s$  – спред;  $D$  – операционные издержки.

Представим деятельность трейдера как *поток событий* принятия инвестиционного решения. В случае «рационального инвестора на эффек-

---

<sup>1</sup> Принимающего риск только за дополнительную ожидаемую доходность.

тивном рынке» должен получаться классический *марковский процесс без последствий*, то есть прошлые решения никак не должны влиять на принятие решений инвестора в будущем. В таком случае *время существования открытой позиции* должно описываться геометрическим распределением

$$P_{(T=t)} = p(1-p)^{t-1}, \quad (3)$$

где  $T$  – время от открытия до закрытия позиции;  $t$  – дискретное время с шагом  $\tau$  (день, месяц и т.д.).

Если оценка инвестором справедливой цены актива расходится с текущей рыночной, то это заставит его держать актив (или короткую позицию по нему) *дольше*, чем это выходит при биномиальной модели. Соответственно хвост у эмпирической плотности распределения «времени владения» будет спадать *не экспоненциально*. Он будет заметно толще, что будет отражать сделки по активам, которые на взгляд инвестора были оценены рынком неверно.

Расширим модель и добавим в нее возможность осуществления всех теоретически возможных операций: *частичного* закрытия, увеличения или повторного открытия позиции. Однако и в этом случае принятия инвестиционных решений на эффективном рынке *не должны зависеть от предыстории*. Количество сделок рационального инвестора за  $n$  периодов дискретного времени должно подчиняться биномиальному распределению

$$P_{(x=m)} = C_n^m p^m (1-p)^{n-m}, \quad (4)$$

где  $x$  – количество сделок инвестора;  $n$  – количество «пересмотров» портфеля.

Соответственно при переходе к непрерывному времени ( $n \rightarrow \infty$ ) получаем для *количества сделок в единицу времени*  $\tau$  распределение Пуассона

$$P_{(x=m)} = \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!}, \quad (5)$$

где  $\lambda$  – среднее число сделок за время  $\tau$  (интенсивность потока).

Отсюда время между двумя событиями потока (а это любая операция трейдера – увеличение, уменьшение, закрытие или открытие вновь) будет иметь экспоненциальное распределение

$$\Phi(T) = \lambda e^{-\lambda \frac{T}{\tau}}, \quad (6)$$

где  $T$  – время между любым изменением позиции.

Это дает нам основание утверждать, что **распределение времени между двумя «соседними» сделками у рациональных инвесторов на эффективном рынке должно сходиться к показательному распределению.**

Отклонение от этой модели будет свидетельствовать, что на рынке присутствует прогнозируемость ценовой динамики и он неэффективен. Либо участник действует нерационально и тем самым делает рынок (пусть и временно) неэффективным.

Долю совокупного объема торгов, которая будет приходиться на трейдеров с экспоненциальным распределением времени между последовательными сделками, мы предлагаем использовать как **количественную меру информационной эффективности финансового рынка**. Соответственно 0 % – полная неэффективность по ГЭР; 100 % – абсолютная эффективность по ГЭР.

Рассмотрим «проблему» расчета времени, которая является самой «уязвимой» частью предлагаемой нами модели. Финансовые ряды характеризуются периодами «всплесков активности» и «спокойных рынков». Это отражает *неравномерность* прихода «неожиданных новостей». Во время активного рынка частота пересмотра портфеля гораздо выше, чем в отсутствие новостного фона. В реальной жизни  $\lambda \neq \text{const}$  и является *случайной величиной, зависящей от физического времени*:  $\lambda = f(t)$ . В таком случае ожидаемое число изменений позиции за время  $\tau$  не будет равно  $\lambda$  как в стационарном случае:

$$a = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \lambda(t) dt, \quad (7)$$

где  $a$  – ожидаемое число сделок в период  $[t_0; t_0 + \tau]$ .

И соответственно *безусловное распределение* времени между любыми изменениями позиции окажется *не-экспоненциальным*, если на рассматриваемый период пришлась смена интенсивности.

Чтобы устранить у нестационарного потока этот «недостаток» необходимо «растягивать» и «сжимать» ось физического времени таким образом, чтобы  $\lambda(t) = \text{const}$ . Однако мы предлагаем не вводить в модель дополнительную функцию «операционного времени»  $F(n; t)$ , а просто использовать в расчетах **тиковое время** вместо физического. Соответственно за единицу времени принимать не торговую минуту, день или месяц, а 100, 1000 и т.д. заключенных сделок (тиков) по данному активу.

На наш взгляд такая замена оправдана, поскольку в тиковом времени эволюция биржевых цен вполне соответствует центральной идее ГЭР – математической схеме случайных блужданий.

Так, эффект скейлинга доходности и среднеквадратического отклонения наблюдается в тиковом времени не хуже, чем в применяемом обычно физическом времени (рис. 1)<sup>2</sup>.

Как видно ожидаемая доходность растет линейно с числом сделок

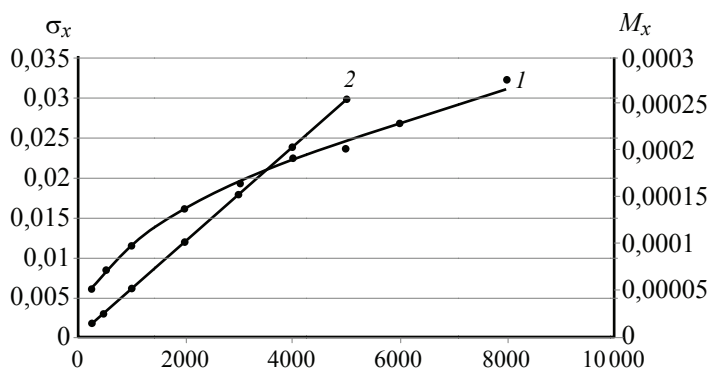
$$a_n \sim n a_1, \quad (8)$$

а среднеквадратическое отклонение доходности – как корень числа сделок

$$\sigma_n \sim n^{0,5} \sigma_1. \quad (9)$$

При этом корреляция приращений практически отсутствует (рис. 2).

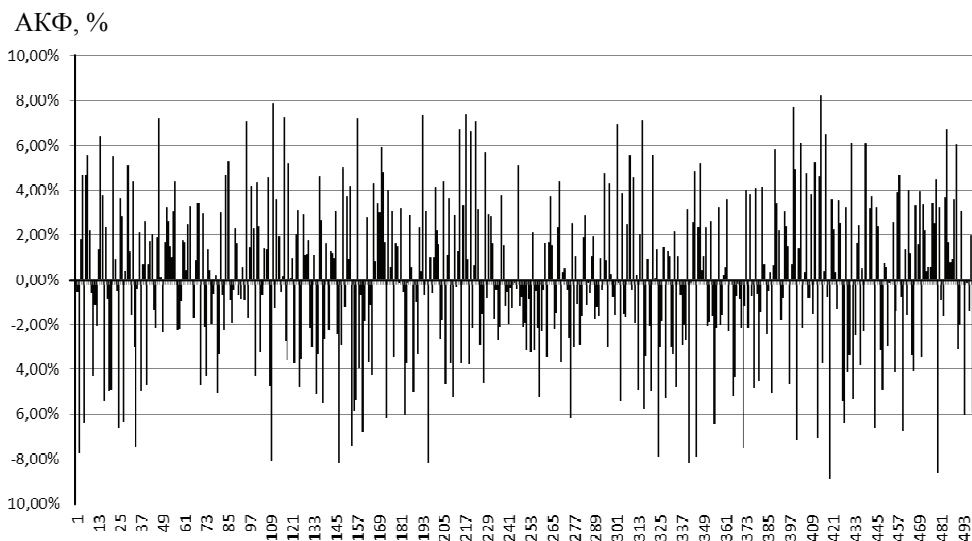
<sup>2</sup> Здесь и далее приведена статистика по торгам RTKM на ММВБ. Качественно аналогичные результаты были получены по SNGS, NLMK, MSNG и др. за 2010 г.



**Рис. 1. Скейлинг логарифмической доходности и СКО в тиковом времени для РТКМ 10.01.2010–31.12.2010:**

$$1 - \sigma_x (y = 0,0004x^{0,4779}, R^2 = 0,9984);$$

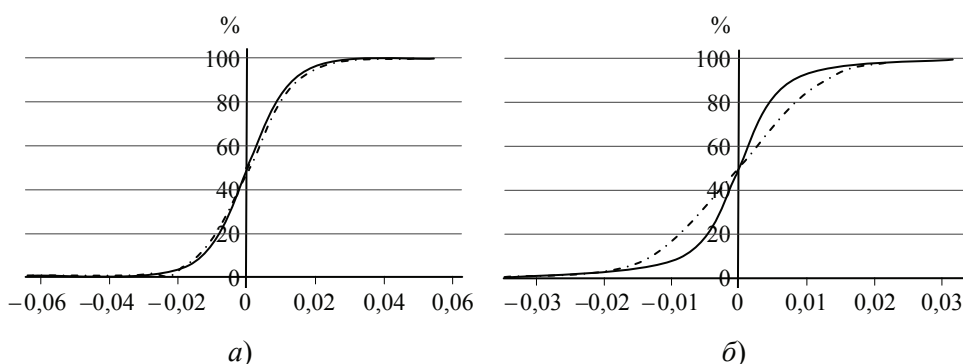
$$2 - M_x (y = 5 \cdot 10^{-8}x + 3 \cdot 10^{-8}, R^2 = 0,9984)$$



**Рис. 2. Автокорреляционная функция (АКФ) 1000-тиковой доходности РТКМ 10.01.2010–31.12.2010**

Следовательно «случайное блуждание» цен можно моделировать и в тиковом времени. А значит с позиций ГЭР тиковое время – такая же полноценная *мера количества поступившей на рынок информации*, что и обычное физическое. Кроме того, с точки зрения удобства анализа, такая система координат даже имеет преимущество перед стандартным подходом. Распределение доходности активов за единицу физического времени почти всегда не является гауссовым, и характеризуется большим эксцессом и толстыми хвостами. Поэтому для их аппроксимации приходится использовать устойчивые распределения Леви–Хинчина. В тиковом времени эффекты *не-нормальности* распределения, если и присутствуют, то выражены гораздо меньше (рис. 3).

Как видно из рис. 3 аппроксимация нормальным распределением практически неразличима с эмпирическими данными 1000-тиковой доходности. При этом распределение доходности за 1 торговый час (в среднем,



**Рис. 3. Эмпирическая функция распределения 1000-тиковой доходности (а) и 60-минутной доходности (б) по бумаге RTKM в 2010 году и их аппроксимация нормальным распределением:**  
 ———— — факт; - - - - normal distr.

состоящем также примерно из 1000 тиков) от нормального очень далеко. Ответственна за эту «метаморфозу» Винеровского процесса в процесс Леви указанная выше «функция операционного времени»  $F(n; t)$

$$W(a; \sigma)F(n; t) = L(a; \beta; \alpha; \sigma). \quad (10)$$

Однако  $F(n; t)$  только задает время между приходом «новостей». Они могут приходиться как «поодиночке» (во время спокойного рынка), так и почти без интервалов (во время объявления «пакета» новостей). Новость «из пакета» оценивается рынком **так же**, как если бы поступила отдельно, в период спокойного рынка. При этом последовательность появления и «значимость» новостей для актива «генерирует» **только**  $W(a; \sigma)$ . Поэтому действия трейдеров – это «отклик» именно на *формирующий процесс*  $W(a; \sigma)$ , и они не зависят от *направляющего процесса*  $F(n; t)$ .

На современных ликвидных рынках интенсивность торгов не определяется единичными участниками. Так что для всех инвесторов случайное блуждание цены в тиковом времени  $W(a; \sigma)$  можно рассматривать как *внешний независимый процесс*, каждая эволюция которого (заключение единичной сделки – тик) отражает *появление на рынке новой информации*.

Относительно  $W(a; \sigma)$  частота пересмотра портфеля инвестором должна быть устойчива  $\lambda(t) = \text{const}$ . В противном случае инвестор как минимум в один из периодов (там, где  $\lambda(t)$  была меньше) игнорировал приход новостей и сознательно отказывался от прибыльных «безрисковых» сделок. Либо заключал «лишние», когда арбитражной возможности на самом деле не было (что привело к повышению  $\lambda(t)$ ). И третий вариант: трейдер стал *более информированным, чем рынок в целом* и стал систематически «конвертировать» это знание (тоже привело к росту  $\lambda(t)$ ).

С учетом «нелинейности» прихода информации, алгоритм расчета предлагаемой нами меры информационной эффективности ценообразования будет следующим:

1. Для каждого трейдера рассчитывается тиковое время между заключенными им сделками.
2. Распределение времени между соседними сделками каждого трейдера тестируется на соответствие экспоненциальному распределению.

3. Отклонение от экспоненциального распределения будет свидетельствовать, что у данного трейдера оценки «справедливой стоимости» актива систематически расходились с рыночной. Операции таких трейдеров – мера рыночной неэффективности.

4. Соответствие экспоненциальному распределению будет означать, что текущие рыночные цены воспринимались трейдером как равновесные и «справедливые».

5. Доля общего объема торгов, приходящаяся на инвесторов с показательным распределением (тикового) времени между сделками будет мерой информационной эффективности ценообразования на рынке (0 % – полная неэффективность, 100 % – абсолютная эффективность по ГЭР).

Введение тикового времени ограничивает сферу использования предлагаемой меры только высоколиквидными активами с большим числом участников торгов. В остальном ее практическое применение аналогично «базовой версии» с физическим временем в качестве «носителя» количества поступающей на рынок информации.

В обоих случаях (физическое или тиковое время) для проведения расчетов необходим доступ к журналу учета заключенных сделок. Стандартная статистика торгов, размещаемая в открытом доступе, для этих целей не годится, поскольку не содержит *сторон сделки*. Кроме того, значительная часть (если не большинство) операций брокеров – это только исполнение заявок клиентов. Поэтому без привлечения информации рыночных посредников о *реальных сторонах каждой сделки* расчет предлагаемой меры невозможен.

#### *Список литературы*

1. Александер, Г. Дж. Инвестиции : пер. с англ. / Г. Дж. Александер, У.Ф. Шарп, Дж.В. Бэйли. – М. : ИНФРА-М, 2009. – 1028 с.
2. Дамодаран, А. Инвестиционная оценка: инструменты и методы оценки любых активов : пер. с англ. / А. Дамодаран. – М. : Альпина Бизнес Бук, 2008. – 1340 с.
3. Ширяев, А. Основы стохастической финансовой математики : в 2 т. / А. Ширяев. – М. : Фазис, 1998. – 2 т.
4. Золотарев, В. Современная теория суммирования независимых случайных величин / В. Золотарев. – М. : Наука, 1986. – 416 с.
5. Алехин, Б. Случайное блуждание цен на бирже / Б. Алехин // Фондовый рынок. – 2004. – № 12 (14). – С. 12–14.
6. Алифанова, Е. Об эффективности российского фондового рынка / Е. Алифанова // Рынок цен. бумаг. – 2008. – № 1. – С. 65–69.
7. Буклемишев, О. Анализ информационной эффективности российского фондового рынка / О. Буклемишев, М. Малютин // Экономика и мат. методы. – 1998. – Т. 34, вып. 3. – С. 77–90.
8. Евстигнеев, В. Портфельные инвестиции в мире и России / В. Евстигнеев. – М. : Эдиториал УРСС, 2002. – 304 с.

9. Лимитовский, М. Эффективен ли российский рынок акций? / М. Лимитовский, С. Нуреев // Рынок цен. бумаг. – 2005. – № 8. – С. 44–46.
10. Наливайский, В. Исследование степени эффективности российского фондового рынка / В. Наливайский, И. Иванченко // Рынок цен. бумаг. – 2004. – № 15. – С. 46–48.
11. Салтыков, С. К вопросу о неэффективности российского рынка / С. Салтыков // Рынок цен. бумаг. – 1998. – № 16. – С. 44–45.
- 

### **New Quantitative Assessment of Information Efficiency of Stock Markets**

**L.N. Kavalenya**

*The State University of the Ministry of Finance of the Russian Federation, Moscow*

**Key words and phrases:** agent-based modeling; efficient market hypothesis; quantitative measures of information efficiency of pricing.

**Abstract:** The paper studies the problem of quantitative assessment of the information efficiency of stock markets. The possibility of using the analysis of trading investors is discussed. The hypothesis about the exponential distribution of the tick time between rational investors in efficient markets is proposed. The actual behavior of investors of the model can be used as the basis for quantitative assessment of the information efficiency of stock markets.

---

© Л.Н. Каваленя, 2011