

ФИНАНСОВЫЕ РЫНКИ

Д. Н. Исакова¹

аспирант кафедры международных валютно-финансовых отношений Национального исследовательского университета — Высшая школа экономики (Москва)

МОДЕЛЬ ВАЛЮТНОГО РЫНКА С РАЗНОРОДНЫМИ ОБУЧАЮЩИМИСЯ АГЕНТАМИ

1. Введение

После распада Бреттон-Вудской системы в 1971 г. анализ поведения валютного рынка приобрел всеобщую популярность. Изначально модели валютного курса учитывали лишь фундаментальные факторы (например, хорошо известная работа Dornbusch, Fischer, Samuelson, 1977), однако в начале 1980-х гг. стало очевидно, что подобный подход не соответствует эмпирическим наблюдениям (Meese, 1990). В ответ Франкель и Фрут (Frankel, Froot, 1990) предложили *cf*-модель (англ. *chartist-fundamentalist*), которая также согласовывалась с переходом от доминирующей теории рациональных ожиданий на эффективном рынке к поведенческой парадигме (значимую роль в котором сыграли работы Саймона (Simon, 1957), Канемана и Тверски (Kahneman, Tversky, 1973)). Следует отметить, что предположение о рациональности и однородности агентов более сильное по сравнению с предположением об их разнородности и ограниченной способности анализировать причинно-следственные взаимосвязи между индикаторами. В ситуации, когда невозможно идентифицировать значимого положительного эффекта от использования более сильной гипотезы, мы склоняемся к принятию более слабой.

Класс *cf*-моделей предполагает разделение типов участников рынка на две категории:

- графисты (*chartists*) — инвесторы с характерными экстраполирующими ожиданиями в широком смысле, инвестиционные решения которых отражают подход, основанный на техническом анализе исторических котировок;
- фундаменталисты — инвесторы, неким образом формирующие представление о «фундаментальной» стоимости актива и рассчитывающие на возвращение цены к данному значению. По своей сути данный тип агентов отражает консервативно настроенную часть рынка и служит стабилизирующим фактором.

В существующей литературе широко распространено моделирование валютных рынков как совокупности когнитивно ограниченных агентов, использующих набор простых правил. Преимущество класса моделей искусственного валютного рынка с гетерогенными ожиданиями участников состоит в том, что они позволяют на основе компактного набора уравнений воспроизвести качественные характеристики эмпирических рядов котировок валютных пар, таких как несимметричность бумов и падений рынка, или эмпирически наблюдаемый

¹ Эл. адрес: daria.isakova@vtbcapital.com

феномен ненормальности распределения валютного рынка (детальный обзор характеристик, которые могут быть воспроизведены с помощью cf-моделей предлагается в работе (Westerhoff, 2009)).

В частности, Гвилим показывает, что статистические свойства динамики рынков финансовых активов в целом согласуются с гипотезой о том, что структура рынка может представлять собой совокупность агентов с набором примитивных торговых стратегий, используемых в каждый момент времени в разных пропорциях (Gwilym, 2009).

Настоящая работа использует каркас модели Де Грау искусственного валютного рынка с разнородными обучающими агентами, представленный в работах (De Grauwe, Grimaldi, 2006; De Grauwe, Grimaldi, 2006; De Grauwe, Kaltwasser, 2007), и дополняет ее стандартный аппарат способностью агентов адаптивно оценивать параметры риска и доходности стратегии, используя более глубокую историю котировок, и в то же время не требует от агентов сложных статистических вычислений, что согласуется с идеей о когнитивных ограничениях индивидов, принимающих решения.

Работа построена следующим образом. Во второй части выписана модифицированная модель «a la' De Grauwe», а также приведен краткий обзор ее существующих интерпретаций. В третьей части рассматриваются традиционные статистики динамического поведения модели и устойчивости к выбору начальных значений и параметров. В заключении обобщаются результаты исследования и предлагается несколько оригинальных путей развития моделей поведенческих валютных рынков.

Все расчеты в работе выполнены в пакете Wolfram Mathematica (Wolfram Research, Inc., 2011). Модель и код, использованный для получения результатов, представленных в настоящей работе, доступен по запросу.

2. Поведенческая модель валютного рынка

2.1. Каркас поведенческой модели валютного рынка. В данной части исследования последовательно выстраивается простая модель принятия решения на валютном рынке. В связи с тем, что детальное описание предварительных шагов и вывод уравнения спроса на валюту из функций полезности агентов представлен в указанных работах Де Грау (De Grauwe, Grimaldi, 2006; De Grauwe, Grimaldi, 2006; De Grauwe, Kaltwasser, 2007), сразу выпишем уравнение идентификации валютного курса в момент t :

$$s_t = \left(\frac{1+r^*}{1+r} \right) \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{\omega_t^i}{\sigma_{t-1}^{2i}}} \left[\sum_{i=1}^N \omega_t^i \frac{E_t^i(s_{t+1})}{\sigma_{t-1}^{2i}} - \Omega_t Z_t \right],$$

где r — процентная ставка внутри страны; r^* — процентная ставка за рубежом; σ_{t-1}^{2i} — оценка дисперсии доходности стратегии по данным, доступным агентам на момент $t-1$; Z_t — объем предложения валюты, $E_t^i(s_{t+1})$ — ожидания будущего значения валютного курса агентами категории i .

$$\omega_t^i = \frac{n_t^i}{\sum_{i=1}^N n_t^i},$$

где n_t^i — количество агентов категории i , а N — общее количество групп.

$$\Omega_t = \frac{\mu}{(1+r) \sum_{i=1}^N n_t^i},$$

где μ — коэффициент отношения к риску.

2.2. Механизмы формирования ожиданий. Наша базовая модель предполагает два набора правил прогнозирования валютного курса, описание стратегий которых приведено в таблице.

Таблица

Инвестиционные стратегии на искусственном валютном рынке

№	Название	Описание стратегии	Формула
1	Стратегия графистов (экстраполяция)	Агент предполагает, что следующий прирост будет взвешанной сумме предшествующих приростов. Правило графистов может быть интерпретировано как стратегия распознавания настроения рынка и следования ему («стадное поведение» (Menkhoff, 1997))	$s_{t+1} = s_t + \beta \sum_{i=1}^n a_i \Delta s_{t-i}$
2	Стратегия фундаменталистов	Агент предполагает, что среднее значение цены является достаточной оценкой фундаментального курса	$s_{t+1} = s_t + \psi(s^* - s_t),$ $\psi \in (0, 1)$

Оба правила построены на предпосылке об ограниченной информации. В нашей модели индивид вне зависимости от принадлежности к группе фундаменталистов или графистов пользуется не всей информацией, а ограничивается рамками потребностей заданных правил.

Рассматриваемая модель предполагает, что фундаменталисты способны сформировать представление о фундаментальном курсе s^* .

2.3. Изменение структуры классов агентов. Заключительным шагом спецификации модели валютного курса является оценка имеющихся правил прогнозирования и моделирование выбора между правилами.

Предполагается, что в начальный момент времени агенты распределены поровну между существующими классами инвестиционных стратегий (в настоящей работе два класса). Затем действующие агенты в каждый период времени осуществляют выбор между существующими стратегиями на основе их основных показателей (риск и доходность).

Как принято в литературе, для изменения доли агентов класса i используется подход Брука и Хоммса (Brock, Hommes, 1997), основанный на относительной прибыльности правил прогнозирования, скорректированной на риск¹:

$$\omega_t^i = \frac{e^{\gamma(\pi'_{i,t-1})}}{\sum_{i=1}^N e^{\gamma(\pi'_{i,t-1})}},$$

где $i = 1, \dots, N; \sum_{i=1}^N \omega_t^i = 1; \gamma \in (0, \infty)$; доходность с учетом риска $\pi'_{i,t} = \pi_{i,t} - \mu \sigma_{i,t}^2$.

В свою очередь, доходность без учета риска рассчитывается следующим образом:

$$\pi_{i,t} = [s_t(1+r^*) - s_{t-1}(1+r)] \text{sgn}[(1+r^*)E_{t-1}^i(s_t) - (1+r)s_{t-1}],$$

где $\text{sgn}(y) = \begin{cases} 1, & y > 0, \\ 0, & y = 0, \\ -1, & y < 0. \end{cases}$

¹ Заметим, что прибыльность мы считаем как доход/убыток на вложенный доллар, а не общее благосостояние группы, т. е. следуем подходу Де Грау.

Таким образом, если правило i оказалось сравнительно более доходным с учетом риска в период $t - 1$ с учетом риска, то доля агентов класса i возрастет. Параметр γ отражает интенсивность пересмотра стратегий, инертность агентов. Чем он выше, тем чаще пересматривают свои прогнозные стратегии агенты; если он равен нулю, то участники рынка вообще не меняют своих правил принятия решений относительно будущей динамики валютного курса и количество фундаменталистов и графистов одинаковое. Результаты работ в области поведенческих финансов (Kahneman, Knetsch, Thaler, 1991) проливают свет на то обстоятельство, что индивиду трудно переключиться на новую стратегию, если он какое-то время пользовался другой. За сложность переключения между стратегиями отвечает параметр γ : чем выше его значение, тем быстрее агенты переключаются между правилами.

3. Модификации модели

3.1. Существующие вариации искусственного валютного рынка с гетерогенными ожиданиями. Очевидно, что приведенная модель легко поддается модификации и уточнению различных механизмов. Действительно, в обзоре (Westerhoff, 2009) приводятся следующие преобразования модели валютного рынка с разнородными агентами:

- *механизм определения курса.* Курс может быть идентифицирован не только комбинацией кривых спроса, задаваемой ожиданиями агентов, и предложения, задаваемой, скажем структурой текущего счета экзогенно, но и через «функцию переноса», которая может быть:

- линейной, например: $P_{t+1} = P_t + \sum_{i=1}^N A_i D_{i,t} \omega_t^i$, где A_i — фактор скорости коррекции валютного курса; $D_{i,t}$ — объем приказов отправленных для исполнения;

- нелинейной как в (Gu, 1995), например: $P_{t+1} = P_t + \sum_{i=1}^N A_i D_{i,t} \omega_t^i$, где $A_i = a + bH(\sum_{i=1}^N A_i D_{i,t} \omega_t^i - c)$, $H(\cdot)$ — функция Хэвисайда;

- *правила формирования ожиданий агентов:*

- нелинейные стратегии графистов. В ряде работ правила графистов не являются в чистом виде экстраполирующими, но включают более сложные правила, такие как голова-плечи (Chiarella, 1992; Farmer, Joshi, 2002; Farmer, 2002);

- нелинейные правила фундаменталистов. В работе (Day, R. & Huang, W., 1990) предлагается модификация, согласно которой фундаменталисты увеличивают свои позиции пропорционально квадрату отклонения фактического курса от фундаментального, демонстрируя большую уверенность в возврате к равновесному значению;

- *выбор стратегии в соответствии с эволюционной моделью.* В модели (Brock, Hommes, 1997) классы агентов имеют возможность стохастически оптимизировать параметры своих стратегий для того, чтобы получить более высокую доходность;

- в модели (Chiarella, He, 2001).

При всем внимании к формированию и взаимодействию ожиданий агентов, представляет интерес и моделирование предложения валюты. Так в работе (De Grauwe, Kaltwasser, 2007) предложение валюты Z_t определяется экзогенным случайным процессом.

3.2. Анализ эффективности стратегий с помощью «онлайн»-алгоритма. Отличие настоящей работы заключается в альтернативном подходе к моделированию способа оценки агентами ключевых параметров стратегии. В прошлом, для того чтобы сохранить предположение о ограниченной рациональности агентов,

доходность стратегии оценивалась как доходность последнего периода или нескольких периодов. В нашем исследовании предлагается оценивать среднюю доходность стратегии «онлайн»-алгоритмом, который можно записать следующим образом:

$$\bar{\pi}_{t,i} = \bar{\pi}_{t-1,i} + A(\bar{\pi}_{t-1,i} - \bar{\pi}_{i,t}),$$

где A — эквивалент скорости спуска в алгоритме Ньютона—Рапсона.

Соответственно последовательная оценка риска или волатильности доходности стратегии использовать подход, предложенный в работе (Welford, 1962) и (Knuth, 1998), а именно:

$$\bar{\sigma}_{t,i} = \frac{\bar{\sigma}_{t,i}(t-1) + (\pi_{i,t} - \bar{\pi}_{t,i})(\pi_{i,t} - \bar{\pi}_{t-1,i})}{n}. \quad (2)$$

Две основные характеристики нашего подхода состоят в следующем. Во-первых, «онлайн»-алгоритм подразумевает, что агенты при принятии решений обращаются к более длинной истории, чем один или несколько периодов, и тем самым, на наш взгляд, иллюстрирует более правдоподобную поведенческую картину. Трейдеры обладают некоторой памятью или, скажем иначе, отслеживают свою прибыль с начала отчетного периода, что представляется логичным в реалиях, когда материальное поощрение агента напрямую зависит от этого показателя. Таким образом, при прочих равных получается, что в распоряжении у лиц, принимающих решения, помимо ближайших предыдущих значений курса есть некие (необязательно полные) убеждения, сформированные на опыте торговли, которые также оказывают влияние на оценку эффективности стратегий. Например, проигрыш вследствие переключения со стратегии фундаменталиста на стратегию графиста на пике пузыря заставит агента при осуществлении подобного выбора в следующий раз быть более осторожным. Во-вторых, «онлайн»-алгоритм позволяет соблюсти предпосылку об ограниченной рациональности агентов, которая состоит в том, что агенты используют простые стратегии прогнозирования, не требующие сложных вычислений. Таким образом, инвесторы, принимающие решения на валютном рынке, имеют возможность оценивать среднюю доходность существующих стратегий с учетом риска без необходимости оперировать всем историческим рядом, лишь последней реализацией прогноза стратегии и двумя ее средними характеристиками.

Отдельно отметим, что вес стратегии (ω_i^j) определяется не только ее простой доходностью $\pi_{i,t}$, но также учитывает поправку на риск $\pi'_{i,t}$, которая формализована в виде волатильности доходности. Поэтому не следует исключать возможность, что стратегия с положительной доходностью будет иметь меньший вес на рынке, чем стратегия с отрицательной доходностью, но с высокой волатильностью, если трейдеры рискофилы.

4. Результаты

4.1. Модель «a'la De Grauwe» без модификаций. В начале мы решили убедиться в правильности работы нашего искусственного рынка. Для этого была построена каркасная модель «a'la De Grauwe». результаты получились в точности такими же, как и у автора изначальной модели (рис. 1), а именно: колебания валютного курса задаются изменением долей существующих классов инвесторов. Такая модель подтверждает существование пиков и падения на валютном рынке: по мере роста повышательного тренда прогнозирование на основе экстраполяции исторических данных становится все более прибыльным и графисты заполняют рынок, способствуя еще более масштабному росту; когда почти весь ры-

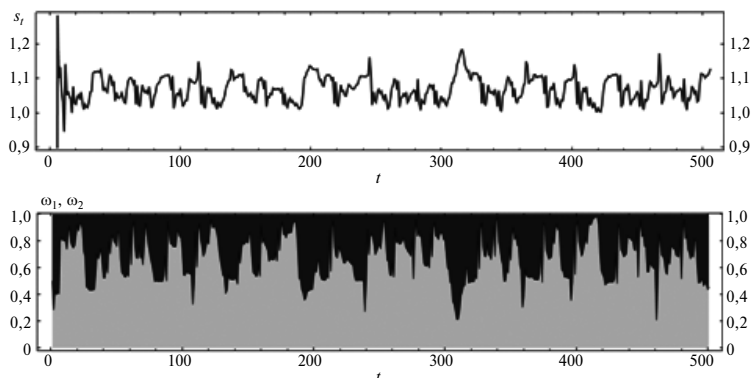


Рис. 1. Сформированные курс и доли двух разных классов агентов, полученные в модели «a'la De Grauwe» без модификаций*

Источник: расчеты автора.

* На верхнем рисунке указан полученный курс в момент времени t ; на нижнем рисунке ω_1 — вес инвесторов, следующих стратегии графистов, изображен на рисунке светлым цветом; ω_2 — вес инвесторов, следующих стратегии фундаменталистов, изображен на рисунке темным цветом; $\mu = 1$, $\gamma = 1$.

нок состоит из графистов, их эффективность снижается и увеличивается относительная прибыльность фундаменталистов; постепенно правила фундаменталистов снова набирают популярность и должен неминуемо произойти резкий спад.

Кроме того, анализ чувствительности решений модели к изменениям таких параметров, как μ (коэффициент отношения к риску) и γ (инертность агентов в процессе смены стратегий), также показал ожидаемые результаты (т. е. согласующиеся с результатами предыдущих исследований).

Для оценки чувствительности было проведено по 200 экспериментов, каждый длиной в 200 итераций на решетке в пространстве параметров $\gamma \times \mu$, где \times — декартово произведение, $\gamma = \{0,1; 0,4; \dots; 50\}$ — параметр скорости изменения весов/консервативности агентов, $\mu = \{-2; -1,7; \dots; 2\}$ — параметр неприятия риска (отрицательные значения свидетельствуют о положительной ценности риска для агента).

При умеренных значениях параметра γ (менее 10) вне зависимости от отношения участников к риску рынок в среднем на 60–70% наполнен графистами, а оставшуюся долю занимают фундаменталисты, что задает эндогенную нестабильность валютного рынка. Однако при повышении скорости пересмотра стратегий (γ) средняя доля фундаменталистов значительно возрастает, и если мы предполагаем, что участники рынка рискофилы (отрицательные значения μ), то процесс увеличения доли фундаменталистов на рынке ускоряется (рис. 2). Получается, что устойчивость рынка к образованию пузырей в зависимости от параметров скорости адаптации структуры рынка к поступающей информации изменяется (в данном случае под пузырем традиционно понимается ситуация, когда доля агентов с экстраполирующими ожиданиями приближается к 100%).

4.2. Модель «a'la De Grauwe» с «онлайн»-алгоритмом оценки эффективности стратегий. Основной интерес представляет то, что при некотором усложнении (еще раз отметим: которое не нарушает предпосылки об ограниченной рациональности агентов) методов оценки параметров эффективности стратегий (в нашем случае — «онлайн»-алгоритм), мы получаем тривиальное решение, т. е. наша модель становится несостоятельной для описания феноменов валютного рынка. После постепенного сокращения амплитуды колебаний курса, на 70–80-м ша-

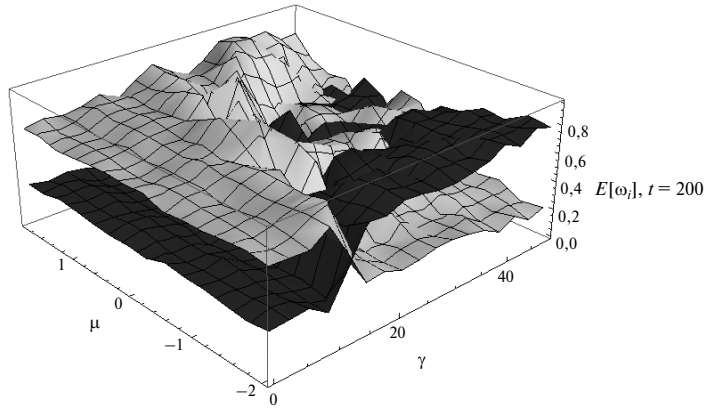


Рис. 2. Влияние параметров μ и γ на долю графистов и фундаменталистов в модели «a’la De Grauwe» без модификаций*

Источник: расчеты автора.

* На рисунке светлым цветом изображена плоскость, определяющая средний вес инвесторов, следующих стратегии графистов, рассчитанный за 200 последовательных итераций, а темным цветом — вес инвесторов, следующих стратегии фундаменталистом.

ге фундаменталисты заполняют весь рынок и валютный курс сходится к некоторому значению (рис. 3).

Анализ чувствительности наподобие того, что был проведен для модели «a la De Grauwe», без модификаций показал, что структура рынка не меняется при варьировании параметра, отвечающего за частоту пересмотра стратегий, а главным условием, определяющим пропорцию типов агентов на валютном рынке, становится отношение к риску трейдеров. Если рынок состоит из инвесторов, предпочитающих стабильную доходность (рискوفобы), то в результате порядка 200 итераций все участники рынка переключаются на стратегию фундаменталистов. Если же трейдеры являются рискофилами, извлекающими положительную

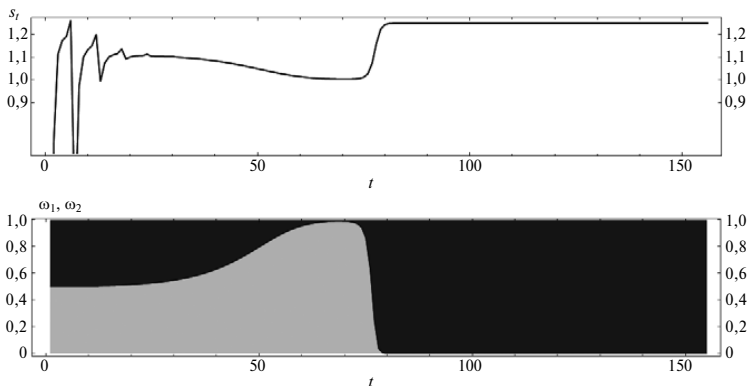


Рис. 3. Сформированных курс и доли двух разных классов агентов, полученные в модифицированной модели «a’la De Grauwe»*

Источник: расчеты автора.

* На верхнем рисунке указан полученный курс в момент времени t ; на нижнем рисунке ω_1 — вес инвесторов, следующих стратегии графистов, изображен на рисунке светлым цветом; ω_2 — вес инвесторов, следующих стратегии фундаменталистов, изображен на рисунке темным цветом; $\mu = 1, \gamma = 1$.

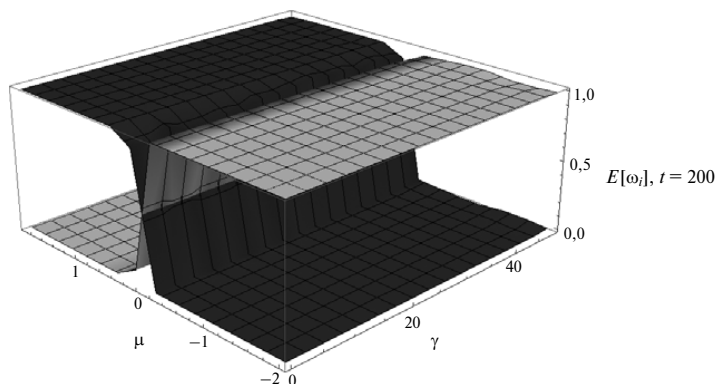


Рис. 4. Влияние параметров μ и γ на долю графистов и фундаменталистов в модифицированной модели «a la De Grauwe»*

Источник: расчеты автора.

* На рисунке светлым цветом изображена плоскость, определяющая средний вес инвесторов, следующих стратегии графистов, рассчитанный за 200 последовательных интераций, а темным цветом — вес инвесторов, следующих стратегии фундаменталистом.

полезность из высокой волатильности, то участники рынка переключатся на стратегию графистов (рис. 4).

Таким образом, по итогам 200 итераций искусственный валютный рынок задает постоянное значение курса и состоит из одного класса инвесторов, тип которого определяется изначальным отношением участников рынка к риску: стратегия графистов станет доминирующей на рынке, состоящем из рискофилов, а фундаменталистов — рискофобов.

Полученные результаты наглядно демонстрируют неустойчивость ставшей классической модели поведенческого валютного рынка к правдоподобной формализации способа оценки агентами параметров стратегий. В следующей подвоятся итоги работы и предлагаются направления дальнейшего исследования.

5. Выводы

В настоящей работе была предложена модификация механизмов классической модели искусственного валютного рынка с агентами, обладающими гетерогенными ожиданиям («a la De Grauwe»). В частности, был предложен новый подход к моделированию оценки агентами параметров стратегий (доходности и риска) на основе «онлайн»-алгоритма.

Основным отличием результатов, полученных на основе нашего подхода, является существенное снижение вероятности появления пузырей на валютном рынке для широкого диапазона наборов параметров в краткосрочной перспективе и повышение скорости трансформации структуры рынка к состоянию устойчивого валютного курса. Важно отметить, что в нормальных условиях предлагаемый подход приводит к доминированию фундаментального курса и класса агентов, которые используют фундаментальную стратегию прогнозирования, при сохранении нетребовательного в вычислительном плане и правдоподобного способа моделирования решений агентов.

Успех простых моделей «a la De Grauwe» в воспроизведении качественных характеристик исторических рядов валютных курсов может быть закреплён, по нашему мнению, если будет разработан подход к их использованию для прогнозирования валютных курсов на практике.

Другим направлением развития моделей «à la De Grauwe» является калибровка параметров для воспроизводства динамики эмпирических валютных курсов.

Калибровка позволила бы также получить интересные сведения о параметрах модели, т. е. о природе агентов: например, идентифицировать реалистичные диапазоны параметра неприятия риска μ , скорости изменения структуры рынка/консервативности агентов γ . Однако наибольший интерес, по нашему мнению, представляет возможность верифицировать структуру валютного рынка, идентифицированную с помощью калибровки модели к эмпирической динамике валютного курса, на основе сверки с фактической структурой рынка (в разрезе классов участников по подходу к прогнозированию), полученной в результате опросов трейдеров (например, Cheung, Chinn, Marsh, 2004).

Источники

- Brock W. A., Hommes C. H.* A Rational Route to Randomness // *Econometrica* September. 1997. Vol. 65 (5). P. 1059—1096.
- Chaudhuri K., Wu Y.* Random walk versus breaking trend in stock prices: evidence from emerging markets // *Journal of Banking and Finance*. 2003. Vol. 27. P. 575—92.
- Cheung Y-W., Chinn M. D., Marsh I. W.* How do UK-based foreign exchange dealers think their market operates? // *International journal of finance and economics*. 2004. Vol. 9. P. 289—306.
- Chiarella C.* The dynamics of speculative behavior // *Annals of Operations Research*. 1992. Vol. 37. P. 101—123.
- Chiarella C., He X.-Z.* Asset price and wealth dynamics under heterogeneous expectations // *Quantitative Finance*. 2001. N 1. P. 509—526.
- Day R., Huang W.* Bulls, bears and market sheep // *Journal of Economic Behavior and Organization*. 1990. Vol. 14. P. 299—329.
- De Grauwe P., Grimaldi M.* Exchange Rate Puzzles: A tale of Switching Attractors // *European Economic Review*. 2006. Vol. 50. P. 1—33.
- De Grauwe P., Grimaldi M.* The Exchange Rate in a Behavioural Finance Framework. Press Princeton University, 2006.
- De Grauwe P., Kaltwasser P. R.* A Behavioral Finance Model of the Exchange Rate with Many Forecasting Rules // CESifo Working Paper Series 1662. CESifo Group Munich, 2007.
- Dornbusch R., Fischer S., Samuelson P. A.* Comparative Advantage, Trade and Payments in a Ricardian Model With a Continuum of Goods // *American Economic Review*. 1977. Dec. Vol. 67(5). P. 823—39.
- Farmer D.* Market force, ecology, and evolution // *Industrial and Corporate Change*. 2002. Vol. 11. P. 895—953.
- Farmer D., Joshi S.* The price dynamics of common trading strategies // *Journal of Economic Behavior and Organization*. 2002. Vol. 49. P. 149—171.
- Frankel J. A., Froot K. A.* Chartists, Fundamentalists, and Trading in the Foreign Exchange Market // *American Economic Review*. 1990. Vol. 80(2). P. 181—85.
- Grieb T., Reyes M.* Random Walk Tests for Latin American Equity Indexes and Individual Firms // *Journal of Financial Research*. 1999. Vol. 22. N 4. P. 371—383.
- Gwilym R.* Can behavioral finance models account for historical asset prices? // *Cardiff Economics Working Papers*. 2009. Vol. E2009/17. P. 187—189.
- Kahneman D., Tversky A.* Prospect theory: an analysis of decisions under risk // *Econometrica*. 1973. Vol. 47. P. 313—327.
- Kahneman D., Knetsch J. L., Thaler R. H.* Anomalies: The Endowment Effect, Loss Aversion, and Status Quo Bias // *Journal of Economic Perspectives*. 1991. Vol. 5(1). P. 193—206.
- Knuth D. E.* The Art of Computer Programming: Seminumerical Algorithms. Boston, 1998.
- Meese R.* Currency Fluctuations in the Post-Bretton Woods Era // *The Journal of Economic Perspectives*. 1990. Winter. Vol. 4. P. 117—134.
- Menkhoff L.* Examining the Use of Technical Currency Analysis // *International Journal of Finance & Economics*. 1997. Vol. 2. N 2. P. 307—18.
- Simon H. A.* Models of Man: Social and Rational / ed. Sons John Wiley and. N. Y., 1957.
- Urrutia J. L.* Tests of random walk and market efficiency for Latin American emerging // *Journal of Financial Research*. 1995. Vol. 18(3). P. 299—309.
- Welford B. P.* Note on a method for calculating corrected sums of squares and products // *Technometrics*. 1962. Vol. 4. P. 419—420.
- Westerhoff F.* Exchange rate dynamics: a nonlinear survey // *Handbook of Research on Complexity*. 2009. P. 287—325.
- Wolfram Research Inc. Mathematica Edition: Version 8.0. Champaign: Wolfram Research Inc., 2011.