

шем определять шахты, способные обеспечить максимальную отдачу на вкладываемые средства.

Следующим этапом исследования намечена разработка возможных вариантов инвестиционных проектов по наращиванию производственных мощностей шахты с целью количественной оценки степени экономической эффективности на шахтах разной степени инвестиционной привлекательности.

Литература.

1. Методика интегральной оценки инвестиционной привлекательности предприятий и организаций. Утверждена приказом Агентства по вопросам предотвращения банкротства предприятий и организаций № 22 от 23.02.98. (www.rada.gov.ua)

2. Алексей Ахрамейко, Борис Железко, Дина Ксенович Агрегированная оценка финансового состояния предприятия // Эковест (Экономический вестник).

Институт приватизации и менеджмента. Выпуск 1. Номер 3. 2001. – с. 500-516.

3. Амоша А.И., Ильяшов М.А., Салли В.И. Системный анализ шахты как объекта инвестирования. – Донецк.: Ин-т экономики промышленности, 2002. – 68 с.

4. Методика комплексного сравнительного анализа работы угольных шахт. – М.: ЦНИЭИуголь, 1982.

5. Малкин А.С., Пучков Л.А., Саламатин А.Г. Еремеев В.М. Проектирование шахт. – М.: Изд-во Акад. горн. наук, 2000. – 375 с.

6. Кравченко А.А., Демин И.К., Митрошичев И.О., Паукова О.П. Оценка инвестиционной привлекательности угольных шахт Донбасса. // Экономика проблемы теории та практики. Збірник наукових праць. Выпуск 186: В 4 т. Том III. Дніпропетровськ: ДНУ, 2003. – с. 879-889.

Статья поступила в редакцию 18.11.2004

Ю.Н. МИЦАЙ, д.ф.м.н.,
С.Ю. МАСТЕРОВ,

Ялтинский университет менеджмента

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАЛЮТНОГО РЫНКА

Одной из важнейших проблем современной финансовой теории является проблема моделирования динамики ценообразования на финансовых рынках.

Классическая финансовая теория утверждает, что цены финансовых активов точно отражают их фундаментальную стоимость. Цена акции определяется дисконтированной стоимостью будущих дивидендов; курс валюты, в долгосрочной перспективе отражает паритет покупательной способности. Рынки стремятся к равновесию, и основное внимание финансовая теория уделяет анализу этого равновесного состояния. Переход от одного равновесного состояния к другому связывается с изменением фундаментальных переменных. Теории равновесия подробно описывают свойства равновесных состояний, однако,

при этом сам процесс ценообразования, переход между точками равновесия не рассматривается [1].

Утверждается, что рыночное равновесие является устойчивым. Т. е. при возникновении небольших случайных отклонений от фундаментальной цены, рынок стремится вернуться в исходное состояние.

Если равновесие устойчиво, то случайными отклонениями можно пренебречь и вполне правомерно сосредоточиться на исследовании равновесных состояний.

Одним из основных положений теории равновесия на финансовых рынках является гипотеза об эффективности рынков (Efficient market hypothesis (EMH)) [2].

Эффективным рынком называют финансовый рынок, на котором фактическая рыночная цена в точности равна истинной стоимости финансового инструмента.

Однако, в реальности на финансовых рынках часто наблюдаются самоусиливающиеся процессы, когда, например, рост цен на акции создает впечатление о высоком уровне прибыльности данных акций, что приводит к увеличению спроса на них и дальнейшему росту цен. Соответственно, при резком падении цен инвесторы стараются избавиться от стремительно дешевеющих акций, что приводит к панике, обвалу цен и биржевым кризисам.

Схожая динамика характерна и для валютного рынка. Экономические агенты предпочитают держать свои средства в той валюте, курс которой растет. Это приводит к увеличению спроса на данную валюту и к дальнейшему ее укреплению. При значительном падении курса валюты происходит падение доверия к ней, что вызывает дальнейшее падение и может привести к возникновению валютного кризиса.

В качестве одного из доводов в пользу теории равновесия приводится тезис о рациональных ожиданиях участников рынка. Предполагается, что экономические агенты ведут себя рационально, т. е. стремятся к максимизации прибыли и используют наиболее эффективные стратегии для достижения этой цели.

Однако, инвесторы, вовлеченные в такие самоусиливающие процессы на самом деле ведут себя наиболее рационально. Ведь в случае, если большинство участников рынка полагает, что акции будут расти, то наиболее разумным решением для отдельного участника, не способного влиять на цену, будет следовать за существующей тенденцией. Кроме того, доходы от роста цен на акции значительно превышают выплачиваемые по ним дивиденды, а изменения курсов валют значительно больше процентных ставок по банковским вкладам.

Поэтому действия инвесторов, ориентирующихся при принятии решений на данные о динамике цен, являются вполне рациональными.

Теория равновесия хорошо применима к товарным рынкам, но при моделировании финансовых рынков возникают значительные проблемы.

Спрос индивида на потребительские товары определяется его предпочтениями, описываемыми с помощью функций полезности, которые относительно постоянны и не зависят от предпочтений других потребителей. Спрос на ресурсы со стороны фирм является производным от спроса на производимые с их помощью товары. Индивидуумы и фирмы ведут себя рационально и используют простые стратегии максимизации полезности и прибыли соответственно. Их действия не зависят от действий других участников рынка. В связи с высокими издержками при хранении товарных запасов возможности спекуляции существенно ограничены.

Совершенно иная ситуация наблюдается на финансовых рынках. Основным фактором, определяющим сегодняшнюю цену финансового актива, является его будущая цена. Причем его цена зависит от прогнозов участников рынка и основанных на этих прогнозах инвестиционных решениях. Стратегии инвесторов достаточно сложны и разнообразны. Кроме того, если один спекулянт продает валюту другому спекулянту, это уже само по себе говорит о том, что их прогнозы относительно изменения ее курса в будущем прямо противоположны. Таким образом, одна из важнейших предпосылок теории равновесия – одинаковые ожидания (*common expectations*) участников рынка на финансовых рынках никогда не выполняется.

Все это делает процесс ценообразования чрезвычайно сложным, а равновесие может быть не единственным или вообще недостижимым.

В связи с этим в последние годы усилился интерес к неравновесным теориям финансового рынка [12]. В рамках данных теорий финансовый рынок рассматривается как неравновесная детерминированная динамическая система лишь имитирующая свойства случайного процесса. Для описания такого рынка используется математический аппарат теории детерми-

нированного хаоса и нелинейной динамики [14].

На смену теориям, предполагающим одинаковые ожидания инвесторов, пришли теории, моделирующие рынок, на котором действуют инвесторы со множеством различных стратегий поведения (multi-agent market models).

Эмпирические свойства финансовых рынков

Принято выделять следующие статистические свойства финансовых рынков (за ними закрепилось название Stylized Facts):

1. Отсутствие корреляции между доходностями, что создает видимость случайных блужданий (Random walk property of asset prices and exchange rates).

2. Кластеризация волатильности (Clusters of volatility).

3. Отличная от нормальной функция распределения доходностей, имеющая «толстые» хвосты (Fat tails of returns).

Одной из задач современной финансовой теории является создание моделей, объясняющих причины возникновения данных свойств финансовых рынков (Такие модели предложены в работах Люкса, Фармера, Брока, Хоммса, Ицуми, Манзана, Вестерхоффа и др.[11, 13, 15, 16, 18]).

Рассмотрим подробнее данные свойства рыночных котировок.

Несложно доказать, что подавляющее большинство эконометрических методов прогнозирования временных рядов не применимо к котировкам финансовых инструментов. Например, бесперспективно использовать модель линейной регрессии для прогнозирования будущих изменений курсов валют по их предыдущим измене-

ниям.

В этом легко убедиться, рассчитав коэффициенты автокорреляции для ряда приращений рассматриваемого временного ряда. При этом, в качестве показателя, характеризующего изменения цен (P_t) на финансовых рынках, могут использоваться:

1. Абсолютные изменения курса:

$$\Delta P = P_t - P_{t-1}.$$

2. Относительные изменения курса:

$$r_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}.$$

3. Логарифмические доходности:

$$r_t = \ln \frac{P_t}{P_{t-1}}.$$

Данное определение доходности вытекает из формулы непрерывного начисления процентов $P_t = P_0 \cdot e^{rt}$, широко используемой в финансовых расчетах.

Для примера рассмотрим коэффициенты автокорреляции для логарифмических доходностей ряда котировок EUR/USD за 1998-2003 г.г. (см. табл. 1).

Минимальное и максимальное значения автокорреляции (коэффициенты с лагом 1 и 12) составляют соответственно -0.0572 и 0.0450. В случае наличия линейной зависимости между переменными коэффициент корреляции был бы близок к 1 (прямая зависимость) или к -1 (обратная зависимость). Данные значения коэффициентов автокорреляции говорят об отсутствии линейной зависимости между текущей доходностью и предыдущими значениями доходности. Это делает невозможным использование модели линейной регрессии для прогнозирования будущих доходностей.

Таблица 1

Коэффициенты автокорреляции логарифмических доходностей EUR/USD за 1998-2003 г.г.

Лаг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент автокорреляции	-0.0572	0.0226	-0.0137	0.0239	0.0212	0.0023	0.0094	-0.0151	-0.015	0.0237
Лаг	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Коэффициент автокорреляции	-0.0419	0.045	0.029	-0.0349	0.0116	-0.0268	0.0212	0.029	0.0289	-0.0089

Однако, отсутствие линейной взаимосвязи между переменными еще не говорит об отсутствии функциональной зависимости между ними вообще. В частности может существовать достаточно сложная нелинейная зависимость между доходностями. Поведение такой системы хаотично и может создавать впечатление случайного процесса. Таким образом, у большинства участников рынка может возникнуть иллюзия случайных изменений цен, что свидетельствует об эффективности рынка (по крайней мере в слабой форме). Однако, некоторые участники рынка, знающие о виде нелинейной зависимости, смогут прогнозировать изменения цен.

Для финансовых рынков характерно чередование периодов высокой волатильности с относительно спокойными периодами. Это явление носит название кластеризация волатильности (изменчивости). При этом такие кризисные периоды часто никак не связаны со значительными изменениями фундаментальных показателей [17]. Эти факты достаточно сложно объяснить с позиций теории рыночного равновесия

Одним из признаков кластеризации волатильности является высокая корреляция между квадратами доходностей активов при слабой или вообще отсутствующей корреляции самих доходностей. Т. е. мож-

но предсказать, что за значительными изменениями цен последуют столь же значительные изменения, но нельзя предсказать знак этих изменений.

Еще одним важным свойством доходностей является сильное отклонение кривой их распределения от кривой нормального распределения, в особенности «в хвостах» распределения (данный эффект получил название *fat tails*). В частности вероятность появления больших по модулю значений доходностей гораздо выше, чем при нормальном распределении. Вершина кривой при этом, наоборот, более узкая.

На рис. 1 изображена эмпирическая функция распределения доходностей EUR/USD за 1998-2003 г.г. с наложенной на нее кривой плотности нормального распределения. Данная функция построена нами на основе ежедневных данных об обменном курсе евро к американскому доллару за период с 1 января 1998 по 31 декабря 2003 года. Из графика видно, что распределение доходностей имеет более острый пик, чем это характерно для нормального распределения. При этом вероятности появления экстремальных значений доходностей гораздо выше, чем это было бы в случае выполнения предположения о нормальном распределении доходностей.

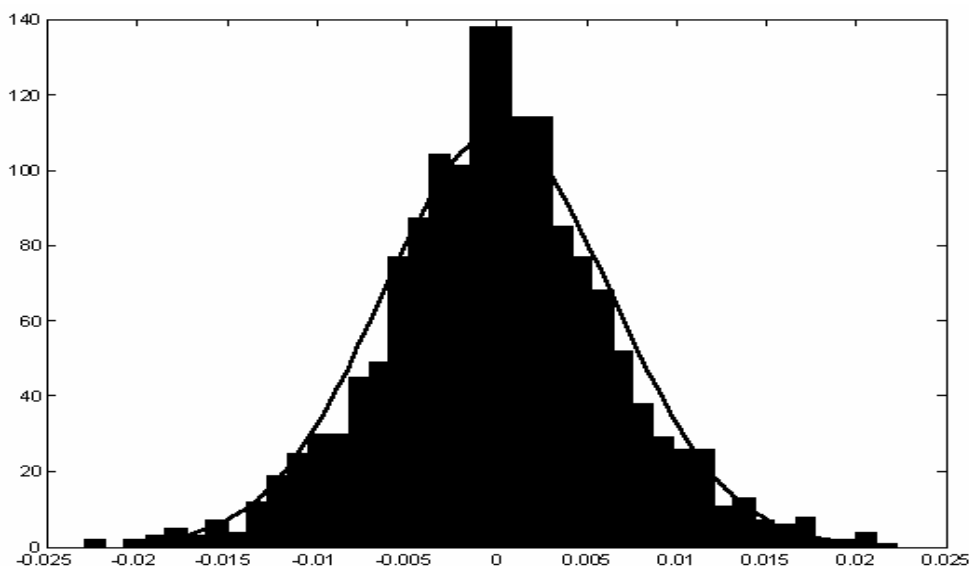


Рис. 1. Эмпирическая функция распределения доходностей EUR/USD за 1998-2003 г.г. и функция нормального распределения

Для анализа свойств эмпирической функции плотности распределения доходностей удобно воспользоваться графиком, представленным на рис. 2., в виде значков «+» на графике представлена эмпирическая функция распределения доходностей. При этом шкала на оси ординат не является равномерной. Расстояния между значениями функции распределения соответствуют расстояниям между значениями квантилей функции нормального распределения. Поэтому функция нормального распределения, показанная в виде пунктирной линии, на данном графике выглядит как прямая.

Если гипотеза о нормальном распределении переменной верна, то значения эмпирической функции распределения будут расположены вдоль этой прямой. Из рисунка хорошо видно, что гипотеза о нормальном распределении доходностей не выполняется, т. к. вероятности экстремальных значений гораздо выше нормальных.

Это свойство доходностей финансовых активов создает значительные про-

блемы при анализе финансовых временных рядов, например, при оценке финансовых рисков. Возникновение именно такой кривой распределения доходностей требует объяснения, что и является одной из задач при создании математических и компьютерных моделей финансового рынка.

Модель валютного рынка

Для описания вышеуказанных свойств валютного рынка нами предлагается неравновесная модель ценообразования с несколькими видами спекулятивных стратегий.

В предлагаемой модели имеется 3 типа участников рынка: фирмы (экспортеры и импортеры), спекулянты и маркет-мейкеры.

Спрос и предложение валюты со стороны фирм (импортеров и экспортеров) связаны с финансированием внешнеэкономической деятельности. Поэтому объемы их спроса и предложения валюты определяются совокупными объемами импорта и экспорта соответственно.

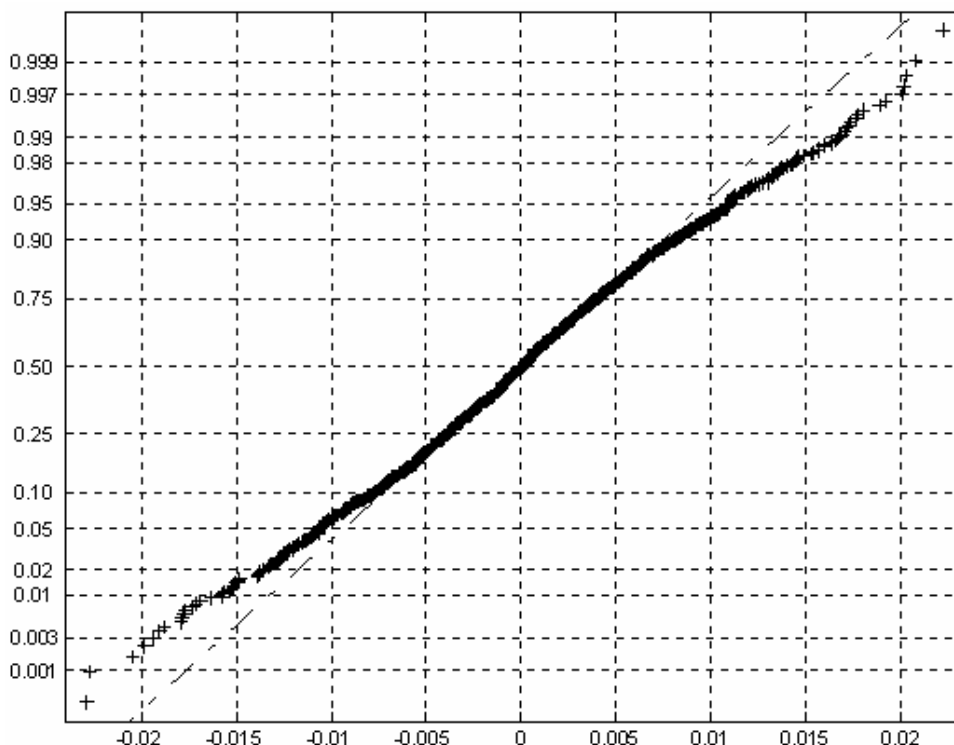


Рис. 2. Графический анализ гипотезы о нормальном распределении доходностей EUR/USD.

Фундаментальной ценой валюты (F_t) мы будем называть такую цену, при которой спрос на нее со стороны импортеров равен ее предложению со стороны экспортеров. Т. е. фундаментальная цена валюты – это такая цена, при которой чистый экспорт (разность между экспортом и импортом) равен нулю. Фундаментальная цена представляет собой валютный курс, обеспечивающий долгосрочный паритет покупательной способности – соответствие цен на внутреннем рынке мировым ценам на товары и услуги.

В данной модели фундаментальная цена непрерывно случайным образом изменяется, следуя процессу вида:

$$\begin{aligned} F_{t+1} &= F_t \cdot \exp(r_t^F) \\ r_t^F &= a^F + b^F \cdot S_t \end{aligned} \quad (1)$$

где S_t - нормально-распределенная случайная величина с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. Константа a^F определяет постоянную скорость изменения фундаментальной цены, b^F определяет величину случайной составляющей в изменении фундаментальной цены. При $a^F = 0$ приращения фундаментальной цены совершенно случайны и независимы друг от друга.

Пусть d_t^f - совокупный спрос (предложение) валюты со стороны фирм. При $d_t^f > 0$ спрос на валюту импортеров превышает ее предложение экспортерами, при $d_t^f < 0$ наблюдается обратная ситуация.

Когда курс валюты (P_t) превышает ее фундаментальную цену, предложение валюты со стороны фирм превышает спрос. Когда курс ниже фундаментальной цены, спрос превышает предложение. Тогда спрос на валюту со стороны фирм определяется уравнением:

$$d_t^f = A \cdot (F_t - P_t) \quad (2)$$

A - некоторая константа.

Более точным вариантом данного уравнения является уравнение с использо-

ванием логарифмов цен:

$$d_t^f = A \cdot (\ln F_t - \ln P_t) = A \cdot \ln \frac{F_t}{P_t} \quad (3)$$

При малых изменениях цен формулы (2) и (3) дадут одинаковый результат. При произвольных изменениях цен необходимо использовать формулу (3).

Спекулятивный спрос (предложение) на валюту связан с действиями валютных спекулянтов и используемыми ими торговыми стратегиями. Рассмотрим модель, в которой существует S типов различных стратегий торговли. Пусть W_t^s - совокупное богатство (объем залоговых средств) спекулянтов, использующих стратегию типа S .

Современные финансовые рынки позволяют использовать привлечение заемных средств для финансирования торговых сделок. Максимальный размер открытой валютной позиции устанавливается в виде кратного к объему залогового капитала участника рынка. Если суммарный капитал спекулянтов типа S составляет W_t^s , то их максимально возможная открытая валютная позиция составляет $m \cdot W_t^s$.

Множитель m представляет собой уровень маржи (кредитное плечо). Он показывает, во сколько раз валютная позиция спекулянта может превышать его залоговый капитал. Если, например, $m = 100$, то валютная позиция может в 100 раз превышать залоговый капитал спекулянта.

Совокупную валютную позицию спекулянтов типа s в момент времени t можно представить в виде:

$$Q_t^s = a_t^s \cdot m \cdot W_t^s \quad (4)$$

Функция

$$a_t^s = a^s(P_{t-1}, P_{t-2}, \dots, P_1) = a^s(\vec{P}_{t-1}), |a_t^s| \leq 1$$

определяет торговую стратегию типа S . Коэффициент a_t^s представляет собой отношение открытой валютной позиции к максимально возможному с учетом уровня маржи ее значению. Если коэффициент a_t^s положительный, то спекулянты данного типа занимают т. н. длинные позиции (по-

купают валюту). Если $a_t^s < 0$, то спекулянты, следующие данной стратегии занимают короткие позиции (продают валюту).

Пусть $C_t^s = m \cdot W_t^s$ - максимальная валютная позиция спекулянтов типа s с учетом уровня маржи, $C = \sum_{s=1}^S C_t^s = m \cdot W = m \sum_{s=1}^S W_t^s$ - максимальная совокупная валютная позиция всех спекулянтов, а $n_t^s = \frac{W_t^s}{W} = \frac{C_t^s}{C}$ - доля капитала спекулянтов, следующих торговой стратегии типа s . Тогда, формулу (4) можно записать в виде:

$$Q_t^s = a_t^s C_t^s = a_t^s n_t^s C \quad (5)$$

Спекулятивный спрос на валюту определяется изменением валютных позиций спекулянтов:

$$d_t^s = Q_t^s - Q_{t-1}^s \quad (6)$$

Следующей составной частью модели являются маркет-мейкеры (один или несколько). Маркет-мейкеры являются финансовыми посредниками между покупателями и продавцами, определяющими цену валюты. Они обладают определенным запасом валюты, что позволяет существовать кратковременному неравновесию в виде дисбаланса между спросом и предложением. При превышении спроса над предложением маркет-мейкер увеличивает цену на величину, пропорциональную избыточному спросу. Если же предложение превышает спрос, то маркет-мейкер наоборот снижает цену. Таким образом, предлагаемая модель является разновидностью неравновесных моделей финансового рынка. Действия маркет-мейкера при этом описываются уравнением:

$$P_t = P_{t-1} \cdot \exp(r_t) \quad (7)$$

$$r_t = h \cdot d_t = h(d_t^f + \sum_{s=1}^S d_t^s)$$

h - константа, определяющая скорость изменения курса валюты.

Уравнение (7) схоже с уравнением

динамики ценообразования по Вальрасу:

$$\frac{dP}{dt} = h[Q^D(P) - Q^S(P)] = h\Delta Q(P) \quad (8)$$

$h > 0$, где Q^D - объем спроса, Q^S - объем предложения.

Следует отметить, что в предлагаемой модели решения о покупке или продаже валюты спекулянты принимают в момент времени $t-1$, располагая информацией о ценах $P_{t-1}, P_{t-2}, \dots, P_1$. А сама покупка или продажа осуществляется по цене P_t , уже немного изменившейся согласно уравнению (7).

Удельный вес спекулянтов, следующих той или иной стратегии непрерывно меняется в зависимости от прибыльности стратегии. Величина n_t^s , определяющая долю спекулянтов, следующих стратегии s определяется с использованием модели Adaptive belief system, предложенной [9, 10]. Данная модель основана на работах Дэниэла Макфаддена в области теории потребительского выбора [19]. Величина n_t^s при этом находится из уравнения:

$$n_t^s = \frac{\exp(bU_t^s)}{\sum_{i=1}^S \exp(bU_t^i)} \quad (9)$$

U_t^s - полезность для инвестора стратегии s , b - константа, определяющая уровень чувствительности модели к значениям функции полезности.

В качестве функции полезности воспользуемся функцией:

$$U_{t+1}^s = (1-w) \cdot a_t^s \ln \frac{P_{t+1}}{P_t} + w \cdot U_t^s = \quad (10)$$

$$= (1-w) \cdot a_t^s \cdot r_{t+1} + w \cdot U_t^s$$

Основным фактором, определяющим полезность стратегии является ее прибыльность. Прибыль на единицу капитала можно рассчитать, умножив валютную позицию инвестора (a_t^s) на логариф-

мическую доходность (r_t). При этом нас интересует не только доходность стратегии за один текущий период, но и ее прибыльность за прошедшие периоды. Значимость прошлых прибылей для определения эффективности стратегии при этом экспоненциально убывает. Параметр $0 \leq w < 1$ определяет степень влияния прибылей за прошедшие периоды на полезность стратегии. При $w=0$ спекулянты учитывают только прибыль за текущий период. Если $w \rightarrow 1$, то при расчете полезности все прибыли имеют одинаковый удельный вес, независимо от срока давности.

Спекулятивные стратегии можно разделить на 2 типа: стратегии, основанные на фундаментальном анализе (принятие решения на основе информации о фундаментальной цене валюты), стратегии, основанные на техническом анализе (информация о прошлых ценах).

В каждом периоде спекулянты пересматривают свои решения относительно занимаемой ими валютной позиции, при этом покупая или продавая валюту. Одновременно, в каждом периоде в соответствии с уравнением (9) изменяется соотношение между различными типами спекулянтов.

Заключая сделку, спекулянт рискует частью своего залогового капитала. Уровень риска при этом прямо пропорционален размеру открытой валютной позиции. Предположим, что доля капитала, которой готов рискнуть спекулянт, прямо пропорциональна ожидаемой им прибыли. При этом следует учесть ограничение, накладываемое на максимально допустимую валютную позицию уровнем маржи ($a_t^s \leq 1$). Тогда, с учетом данного ограничения, спекулятивные стратегии торговли можно представить в виде:

$$a_t^s = \begin{cases} k \cdot \tilde{r}_{t+1}^s, & |k \cdot \tilde{r}_{t+1}^s| \leq 1 \\ \text{sign}(\tilde{r}_{t+1}^s), & |k \cdot \tilde{r}_{t+1}^s| > 1 \end{cases} \quad (11)$$

Через \tilde{r}_{t+1}^s мы обозначаем прогнозируемую спекулянтами типа s логарифмическую доходность:

$$\tilde{r}_{t+1}^s = \ln \frac{\tilde{P}_{t+1}^s}{\tilde{P}_t^s} \quad (12)$$

где \tilde{P}_{t+1}^s - прогнозируемый инвесторами типа s валютный курс в момент времени $t+1$.

Спекулянты, прогнозы которых основаны на фундаментальном анализе, в качестве прогнозной цены используют фундаментальную стоимость валюты:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_{t+1}^1 &= F_{t-1} \\ \tilde{P}_t^1 &= P_{t-1} \end{aligned} \quad (13)$$

Напомним, что в рассматриваемой модели торговый решения принимаются на основе информации, имеющейся в момент времени $t-1$, сама сделка осуществляется в момент времени t , а прогноз курса делается на момент $t+1$.

Соответственно, функцию, определяющую поведение фундаменталистов, можно записать в виде:

$$a_t^1 = \begin{cases} k \cdot \ln \frac{F_{t-1}}{P_{t-1}}, & |k \cdot \tilde{r}_{t+1}^1| \leq 1 \\ \text{sign}(\ln \frac{F_{t-1}}{P_{t-1}}), & |k \cdot \tilde{r}_{t+1}^1| > 1 \end{cases} \quad (14)$$

Для определения будущей прибыльности стратегии имеет значение не цена, а относительное изменение цены, определяемое как логарифмическая доходность. Поэтому, целесообразно прогнозировать не цены (\tilde{P}_{t+1}), а их относительные изменения (\tilde{r}_{t+1}).

Простейшими вариантами технических стратегий являются стратегии, основанные на предыдущем изменении курса: стратегия следования за тенденцией ($\tilde{r}_{t+1}^2 = r_{t-1}$) и стратегия следования против тенденции ($\tilde{r}_{t+1}^3 = -r_{t-1}$).

Функцию, определяющую валютную позицию для стратегии 2 можно записать в виде:

$$a_t^2 = \begin{cases} k \cdot \tilde{r}_{t+1}^2 = k \cdot r_{t-1} = k \cdot \ln \frac{P_{t-1}}{P_{t-2}}, & |k \cdot \tilde{r}_{t+1}^2| \leq 1 \\ \text{sign}(\tilde{r}_{t+1}^2) = \text{sign}(r_{t-1}) = \text{sign}(\ln \frac{P_{t-1}}{P_{t-2}}), & |k \cdot \tilde{r}_{t+1}^2| > 1 \end{cases} \quad (15)$$

Стратегия 3 противоположна стратегии 2: $a_t^3 = -a_t^2$

Введем несколько стратегий, основанных на доходностях с лагами 2-5 (стратегии 4-11).

Для учета долгосрочных тенденций изменения курса целесообразно использовать экспоненциально-взвешенную доходность:

$$r_t^{\text{exp}} = (1 - w^{\text{exp}}) \cdot r_t + w^{\text{exp}} \cdot r_{t-1} \quad (16)$$

Коэффициент $0 \leq w^{\text{exp}} < 1$ задает скорость убывания значимости предыдущих доходностей при расчете r_t^{exp} .

Функцию, определяющую валютную позицию для стратегии 12, основанной на экспоненциально-взвешенной доходности, можно записать в виде:

$$a_t^{12} = \begin{cases} k \cdot \tilde{r}_{t+1}^{12} = k \cdot r_{t-1}^{\text{exp}}, & |k \cdot \tilde{r}_{t+1}^{\text{exp}}| \leq 1 \\ \text{sign}(\tilde{r}_{t+1}^{12}) = \text{sign}(r_{t-1}^{\text{exp}}), & |k \cdot \tilde{r}_{t+1}^{\text{exp}}| > 1 \end{cases} \quad (17)$$

Соответственно, стратегию 13 мы определим как стратегию, противоположную стратегии 12.

Для исследования свойств полученной модели валютного рынка с данным набором стратегий мы реализовали расчет модели на компьютере.

Поведение модели существенно различается при различных значениях регулирующих ее параметров: h, w, b, A, C . При этом в определенных критических

точках (при критических комбинациях параметров) свойства модели скачкообразно меняются.

В определенном диапазоне значений параметров модель достаточно точно отражает многие качественные характеристики валютного рынка.

Рассмотрим результаты компьютерного моделирования динамики ценообразования при значениях параметров, приведенных в таблице 2

Таблица 2

Значения основных параметров модели.

Параметр	T	F_1	a^F	b^F	P_1	A	S	h	C	b	w	w^{exp}	k
Значение	10^4	100	0	0.01	100	$2 \cdot 10^{11}$	13	10^{-12}	$4 \cdot 10^{10}$	4000	0.99	0.9	40

Как показало компьютерное моделирование, курс валюты колеблется около ее фундаментальной стоимости, лишь ненадолго отклоняясь от нее. На долгосрочных графиках данные кривые фактически сливаются. Причем амплитуда колебаний цены существенно меньше, чем амплитуда колебаний фундаментальной цены. Таким образом, при данных значениях парамет-

ров рынок можно считать близким к эффективному. Т. е. цена существенно не отклоняется от фундаментальной стоимости валюты.

Автокорреляция доходностей относительно невелика и составляет около 10%. Однако, коэффициенты автокорреляции неустойчивы и постоянно колеблются, что делает невозможным их использование

для предсказания будущих доходностей. График 50-дневного коэффициента автокорреляции с лагом 1 представлен на рис. 3. Значения коэффициента находятся в

диапазоне от -0.4 до 0.4, что говорит об отсутствии устойчивой зависимости между доходностями.

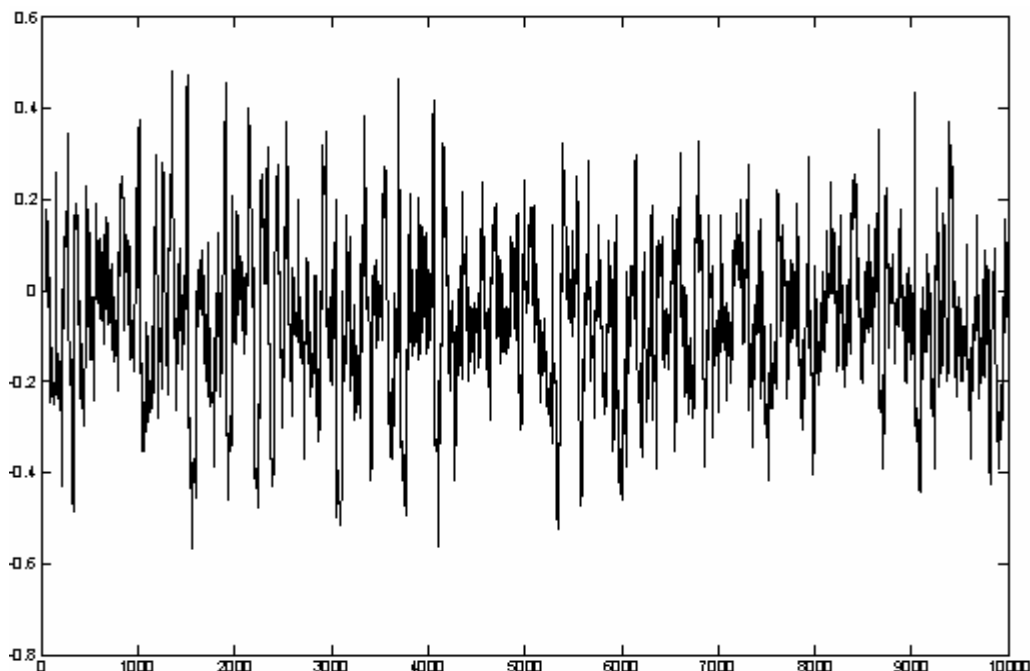


Рис. 3. 50-дневный коэффициент автокорреляции доходностей с лагом 1

Прибыль, получаемая спекулянтами, следующими той или иной стратегией, также непостоянно. Это в свою очередь отражается на удельном весе спекулянтов, выбирающих ту или иную стратегию (n_t^s). В результате, соотношение между различными типами спекулянтов постоянно изменяется. Наиболее успешной при данных параметрах модели является стратегия 1, основанная на фундаментальной цене. Однако ни одна стратегия не обеспечивает стабильно высоких доходов на протяжении длительного периода.

Таким образом, свойства рынка постоянно изменяются, что не дает возможности постоянно использовать одну и ту же стратегию торговли.

В целом, это подтверждает тот факт,

что при данных параметрах модель описывает рынок, близкий к эффективному.

Вместе с тем, доходности имеют ряд свойств, хорошо согласующихся со свойствами реальных доходностей. В частности, коэффициенты автокорреляции квадратов доходностей (рис. 5) значительно больше, чем коэффициенты автокорреляции самих доходностей (рис. 4). Это говорит о том, что предсказать абсолютную величину изменения курса значительно проще, чем предсказать знак этого изменения. Кроме того, сильные колебания курса в свою очередь порождают сильные колебания в последующих периодах (кластеризация волатильности).

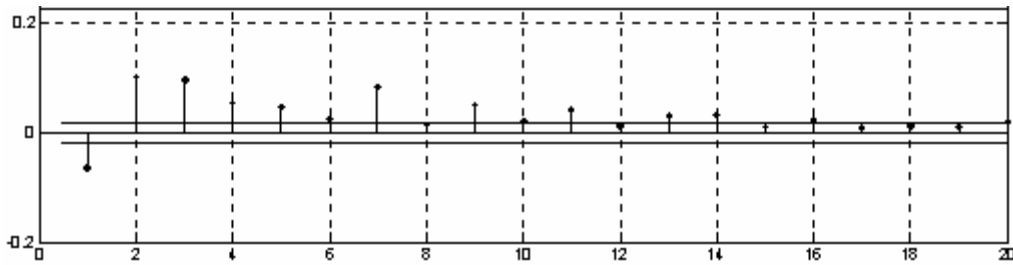


Рис. 4. Автокорреляция доходностей по данным за 10000 периодов (весь период тестирования)

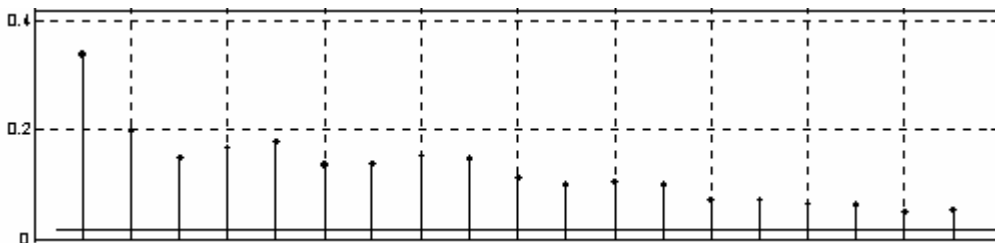


Рис. 5. Автокорреляция квадратов доходностей по данным за 10000 периодов (весь период тестирования)

В данной модели также наблюдается значительное отклонение функции распределения доходностей от нормального распределения. При том, что доходности фундаментальной цены являются нормально распределенными, доходности цены такого свойства не обнаруживают. Таким образом, данная модель описывает еще одно наблюдаемое свойство реальных финансовых рынков.

Возникает вопрос: что произойдет, если фундаментальные доходности будут сильно коррелированы между собой? Будет ли наблюдаться такая же корреляция между доходностями цены?

Для этого сгенерируем фундамен-

тальные доходности с высоким коэффициентом автокорреляции. Пусть коэффициент фундаментальных доходностей автокорреляции с лагом 1 равен 0.5.

Высокая автокорреляция фундаментальных доходностей могла бы привести к такой же автокорреляции доходностей цены. Это позволило бы с достаточно высокой вероятностью предсказывать направление изменения курса валюты. Но этого не происходит! На диаграмме автокорреляций доходностей (рис. 6) мы видим совершенно иную картину. Однако, при этом цена по прежнему значительно не отклоняется от фундаментальной. А значит рынок достаточно близок к эффективному.

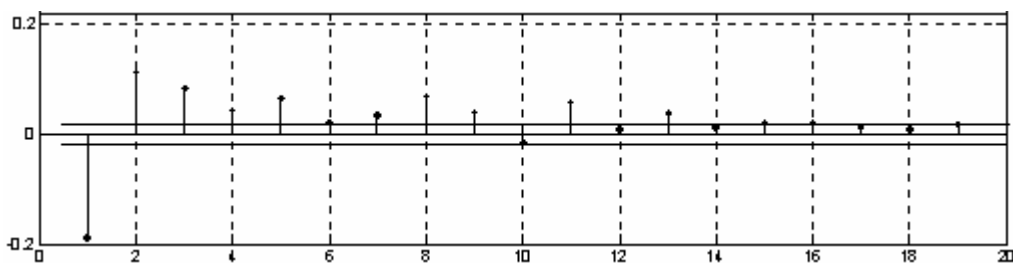


Рис. 6. Автокорреляция доходностей в модели с коррелированными фундаментальными доходностями

Таким образом, свойства цен на финансовых рынках определяются не только фундаментальными показателями, но и

структурой самого рынка и процессами, на нем происходящими.

Литература.

1. Крушвиц Л. Финансирование и инвестиции. Неоклассические основы теории финансов /Пер. с нем.- СПб "Питер", 2000
2. Мертенс А. В. Инвестиции: курс лекций по современной финансовой теории.-К.:Киевское инвестиционное агентство, 1997.
3. Джон Дж.Мэрфи "Технический анализ фьючерсных рынков: теория и практика". -К: Издательство "Сокол", 1996.
4. О'Брайан Дж. и др. Финансовый анализ и торговля ценными бумагами. Пер. с англ.- М.:«Дело»,1995
5. Сорос Дж. Кризис мирового капитализма. Открытое общество в опасности. Пер. с англ. - М.: ИНФРА-М, 1999
6. Сорос Дж. Алхимия финансов. - М.: Инфра-М, 1996
7. Уотшем Т. Дж., Парамоу К. Количественные методы в финансах. /Пер. с англ. Под ред. Ефимовой М. Г. – М.:Финансы, 1999
8. Шарп У., Александер Г., Бейли Дж. Инвестиции / Пер. с англ.-М.: Инфра-М, 1999 .
9. Brock, W.A. and C.H. Hommes (1997): A Rational Route to Randomness. *Econometrica*, 65, 1059-1095 (<http://www.fee.uva.nl/cendef/publications/>)
10. Brock, W.A. and C.H. Hommes (1998): Heterogeneous Beliefs and Routes to Chaos in a Simple Asset Pricing Model, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 22, pp. 1235-1274 (<http://www.fee.uva.nl/cendef/publications/>)
11. Farmer J.D. (1998): Market Force, Ecology and Evolution. Santa Fe Institute Working Paper 98-12-117 (<http://www.lanl.gov/adapt-org/9812005>).
12. Farmer J.D. Frontier of finance; Evolution and efficient markets. *Proceeding of the National Academy of Sciences*96, 1996, pp. 9991-9992
13. Farmer J.D. and Joshi S. (2000): The price dynamics of common trading strategies. *Journal of Economic Behavior and Organization*, October 2002, preprint at <http://www.lanl.gov/abs/cond-mat/0012419>
14. Hommes C.; Financial markets as nonlinear adaptive evolutionary systems; *Quantitative Finance*, Vol. 1, 2001, pp.149-167 (<http://www.fee.uva.nl/cendef/publications/>)
15. Izumi K. and Okatsu T. An Artificial Market Analysis of Exchange Rate Dynamics, in L.J. Fogel et.al (eds.), "Evolutionary Programming V", MIT Press, pp27-36, 1996
16. Izumi K. Does learning by market participants make financial markets complicated? *AAAI Workshop Multi-Agent Modeling and Simulation of Economic Systems*.(<http://www.carc.aist.go.jp>), 2002
17. Lux T., Marchesi M. Volatility clustering in financial markets: a microeconomic simulation of interacting agents. *Journal of Theoretical and Applied Finance* No. 3, 2001, pp. 675-702
18. Manzan S. Westerhoff F. Heterogeneous expectations exchange rate dynamics and predictability, University of Amsterdam, 2003 (<http://www.fee.uva.nl/cendef/publications/>)
19. McFadden D. Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior, in P. Zarembka (ed.), *Frontiers of Econometrics*, New York, NY, Academic Press, 1974 (<http://emlab.berkeley.edu/reprints/mcfadden/zarembka.pdf>)
20. Pan H.P. A joint review of technical and quantitative analysis of financial markets towards a unified science of intelligent finance. *Proc. 2003 Hawaii International Conference on Statistics and Related Fields*, June 5-9, Hawaii, USA

Статья поступила в редакцию 05.01.2005