

## Адаптивная система принятия решений на финансовых рынках

В статье описывается адаптивная модель принятия решений трейдером о совершении сделок на финансовом рынке, основанная на методе взвешенных индикаторов, т. е. на сигналах нескольких стандартных Механических торговых систем (МТС), обобщая их и перераспределяя между ними весовые коэффициенты, которые меняются в зависимости от эффективности самих МТС. Расчеты производились по данным динамики цен на международном валютном рынке FOREX.

### 1. Введение

За последнее столетие финансовые рынки прошли несколько стадий развития, и в настоящее время характеризуются многообразием как существующих инструментов, так и методик анализа и прогнозирования изменения цен на финансовые активы.

В связи с развитием информационных технологий методы анализа и прогнозирования финансовых рынков видоизменяются. Так появился *фигурный анализ* или *анализ форм*. Участники торгов отмечали цены сделок на графиках, после чего анализировали характер их движения, стараясь найти похожие модели, с целью предсказать дальнейшее развитие ситуации на рынке. Таким образом, появилось множество так называемых фигур технического анализа. В дальнейшем трейдеры стали анализировать динамику движения цен с помощью построения рыночных индикаторов, которые представляли собой некоторую функцию от цены. Классическим примером такой функции является *простое скользящее среднее значение*.

$$SMA_j(p, n) = \frac{\sum_{k=j-(n-1)}^j p_k}{n}, \quad (1)$$

где  $SMA$  — Simple Moving Average (простое скользящее среднее значение),

$p_k$  — значение цены в  $k$ -й момент времени,

$n$  — период усреднения.

В настоящее время существуют сотни индикаторов технического анализа, в той или иной мере используемые участниками торгов при анализе финансового рынка. Совокупность методов анализа и прогнозирования движения цен с помощью индикаторов называется *индикаторным анализом*. Все индикаторы технического анализа делятся на две основные группы. К первой группе относятся индикаторы, принцип работы которых основан на выявлении существующих, зарождающихся, или угасающих трендов (тенденций движения цены). Это группа *трендовых индикаторов*. Ее наиболее известными представителями являются все скользящие средние значения и их производные.

Во вторую группу индикаторов входят инструменты, не направленные на поиск глобальных тенденций движения рынка, а выявляющие небольшие краткосрочные колебания цены. Среди этих индикаторов RSI (Relative Strength Index — индекс относительной силы), Momentum (индикатор темпа движения цен), ROC (Rate of Change — индикатор скорости изменения цен) и другие. Основной их задачей является нахождение наиболее точных моментов *входа в рынок* вне зависимости от долгосрочной тенденции. Индикаторы данной группы называются *осцилляторами*.

Визуальным отличием трендовых индикаторов от осцилляторов служит диапазон изменения их значений. Как правило, границы движения трендовых индикаторов по вертикальной оси не ограничены (кроме нулевого значения цены), в то время как большинство осцилляторов изменяются в границах определенного диапазона значений (например, от 0 до 100).

В силу функциональной зависимости всех индикаторов от значений цены, именно индикаторный анализ, в отличие от анализа форм, более удобно использовать при построении автоматических торговых систем.

В связи с необходимостью анализа большого количества исторических данных различных индикаторов и необходимостью принятия решений в кратчайшие сроки, все большее распространение в последнее время получает метод торговли на финансовых рынках, называемый *Системной торговлей* — System Trading (ST). Его принцип заключается в формализации алгоритмов принятия решений трейдером на финансовых рынках. Эти компьютерные системы получили название *Механические торговые системы* (МТС). Сначала с помощью специального программного продукта формализуется алгоритм совершения сделок, а затем тестируется его эффективность на исторических данных по динамике движения цены выбранного актива на рынке. В некоторые программные продукты для таких систем встроена функция оптимизации параметров формализуемого алгоритма.

Для большинства трейдеров системная торговля дает лучшие результаты, чем интуитивное принятие решений. Торговля по интуиции включает субъективные решения, которые часто бывают пристрастными и ведут к убыткам. Аффект, неуверенность, жадность и страх легко вытесняют знание и разум в роли ведущей торговлю силы. Кроме того, трудно тестировать метод, где отсутствуют жесткие правила принятия решений.

Одной из основных положительных черт МТС является возможность тестирования; убыточную систему можно отбросить или скорректировать, а прибыльную — модернизировать.

Идея создания системы, которая позволила бы автоматизировать процессы принятия решений на финансовых рынках, возникла с началом эпохи всеобщей компьютеризации. При существующих темпах развития сферы высоких технологий, возможность переложить работу трейдера на фондовом рынке на технику казалась вполне реальной и более чем привлекательной. Сегодня механические торговые системы доказали свою эффективность и активно используются многими профессиональными трейдерами, а торговые роботы — новый продукт информационных технологий, способны привести к революции в биржевой индустрии. Однако автоматическая система представляет собой набор алгоритмов, который может быть неэффективным в кризисной ситуации, где необходимо применить неординарный подход и резко сменить тактику. В отличие от человека, механическая система не способна работать на рынке длительное время. Рано или поздно заложенный в ней алгоритм перестает приносить прибыль.

Единственным способом проверить эффективность механической торговой системы является тестирование заложенного в нее алгоритма на исторических данных. Поскольку данные о прошлых движениях цены уже известны, провести достоверное тестирование вручную нельзя — из-за субъективности тестирующего. Если в определенный момент времени трейдер видит на графике подходящую «точку входа» (то есть удачный момент открытия торговой позиции), оценка качества момента совершения сделки будет зависеть от оценки видимой части графика, находящейся после этой точки. Кроме того, поиск моментов совершения сделок на всем массиве исторических данных вручную может привести к тому, что тестирующий пропустит некоторое количество сигналов. Если же имеется возможность формально определить и запрограммировать модель, то машина может провести работу быстро и объективно, обработав многолетние исторические данные. А результаты теста покажут, действительно ли данная модель дает прибыльные сигналы.

При торговле на финансовых рынках трейдер может осуществлять два варианта совершения сделки. Первый заключается в выставлении заявки на совершение сделки по необходимой ему цене (или нескольких заявок с разными ценами и объемами). Такие заявки называются *лимитированными*. Это подходит в основном для тактики *скальпирования* (частое совершение сделок, каждая из которых нацелена на получение лишь небольшой прибыли за короткое время). Именно в данном случае важен каждый ценовой пункт. Второй же способ заключается в совершении сделки *по рыночной цене*. При данном действии сделка совершается мгновенно, но возможно, чуть менее выгодно, чем при первом способе. Моделирование процесса принятия решения при первом способе в рамках этой работы не рассматривается, поскольку тактик распределения как заявок по оси цены, так и объема может существовать бесконечное множество, и все их учесть и описать практически не возможно. Поэтому нами смоделирован процесс принятия решений только для случая со сделками *по рыночной цене*; рассмотрены задачи, связанные с нахождением ответов на вопросы «когда совершать сделку?» и «каков характер сделки?» (покупка или продажа). Поиск ответа на вопрос «сколько?», т. е. решение задачи оптимального управления объемом сделки является предметом отдельного исследования, которое, возможно, будет проведено в дальнейшем. В рамках же данной статьи описывается адаптивная модель принятия решений, в основе которой лежит метод взвешенных индикаторов.

## 2. Описание модели

Каждый трейдер в процессе торговли анализирует рыночную ситуацию с помощью различных методов, количество и состав которых определяет он сам.

Предположим, что каждый метод анализа рынка, которым пользуется участник торгов, представлен в виде некоего индикатора  $f$ , оказывающего влияние на решение трейдера о покупке или продаже рыночного актива. Данным индикатором может быть любой способ прогнозирования, на котором основывается трейдер (технический анализ, фундаментальный анализ или интуиция). На выходе трейдер получает значение, соответствующее этому индикатору. Количество индикаторов также может быть любым (от одного до бесконечности), например, сигналы, получаемые от пересечения простого скользящего среднего и цены; данные по какому-либо экономическому показателю эмитента или страны. Каждый индикатор принимает значение от  $-1$  до  $1$  ( $-1$  соответствует 100%-му сигналу на продажу, а  $1$  — 100%-му — на покупку) (рис. 1).

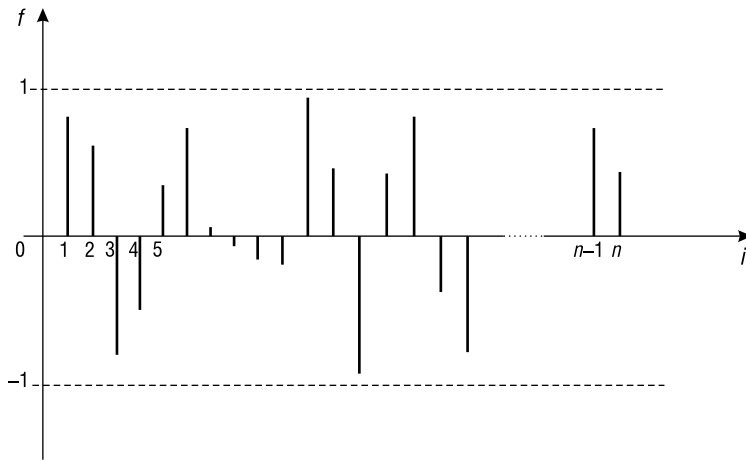


Рис. 1. Распределение значений индикаторов

Обозначим через  $F$  — множество этих индикаторов, а через  $u$  — оценку трейдером будущего изменения цены (в данном случае имеется в виду оценка направления предстоящего движения цены некоторого актива). В данной модели все индикаторы имеют на выходе всего три возможных значения  $(-1, 0, 1)$  вместо множества значений от  $-1$  до  $1$ . Однако возможно использование и дробных значений индикатора. Тогда появляется возможность более точно назначать веса.

При принятии решений трейдером, показания всех индикаторов имеют для него неодинаковую важность. Поэтому назовем каждому из них свой вес ( $w_i \geq 0$ ). Обозначим через  $W$  множество этих весов (рис. 2).

Умножим значение каждого индикатора на соответствующий ему вес, затем результат поделим на сумму всех весов и получим модель принятия решения участником торгов, которая является средневзвешенной из значений индикаторов и соответствующих им весовых коэффициентов.

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n f_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \tag{2}$$

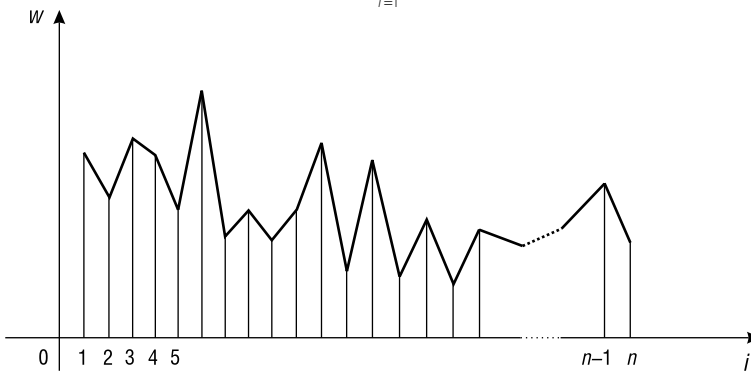


Рис. 2. Распределение весовых коэффициентов

Значение  $u$ , также как и значение индикаторов колеблется в пределах от  $-1$  до  $1$ .

Фактически множество индикаторов  $F$  может быть одинаковым для всех трейдеров. Но закон распределения весовых коэффициентов  $u$  каждого участника торгов свой и может меняться со временем. Некоторые трейдеры в силу незнания определенного метода анализа, а также умышленного пренебрежения им, присваивают вес данному индикатору близкий, или равный  $0$ . Таким образом, остается некоторое подмножество индикаторов  $F'$  множества  $F$ , с весовыми коэффициентами не равными нулю, на которые трейдер обращает внимание. В качестве вышеуказанных индикаторов могут выступать и МТС, генерирующие сигналы  $-1$ ,  $1$  и  $0$ .

Методы анализа финансового рынка в виде МТС основываются на различных логических алгоритмах и автоматически генерируют сигналы к совершению сделок. Механическая торговая система, включает некоторую функцию от цены, которая в каждый момент времени имеет три варианта значений:  $1$ ,  $-1$ ,  $0$ , соответствующих сигналам на покупку ( $1$ ), продажу ( $-1$ ) и отсутствие каких-либо действий ( $0$ ). Эти функции могут быть как достаточно простыми, например, пересечение двух простых скользящих средних разного периода (формула 3), так и чрезвычайно сложными.

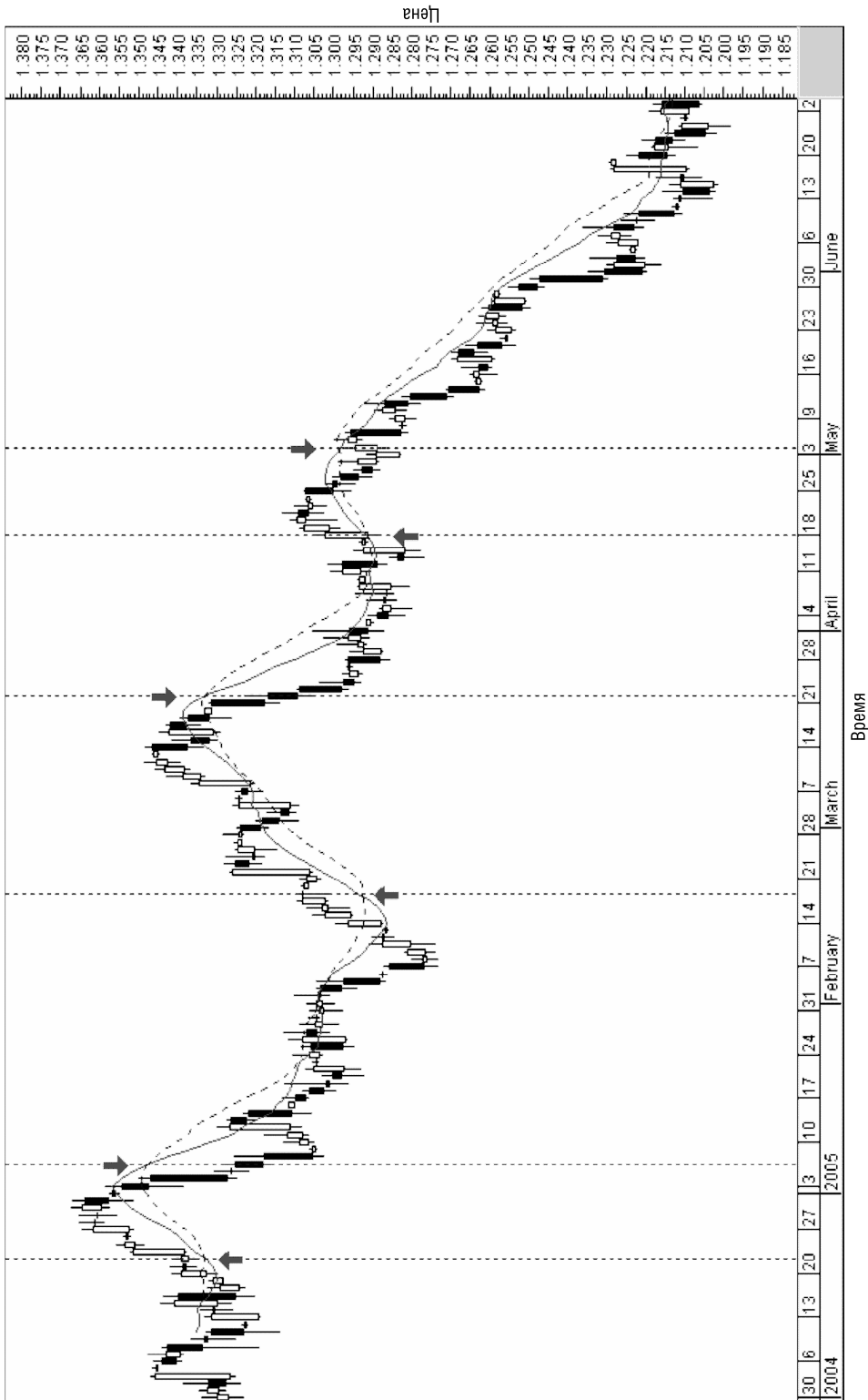
$$f_i(t_j) = \begin{cases} 1, & \text{при } [SMA_j(5) > SMA_j(10)] \cap [SMA_{j-1}(5) \leq SMA_{j-1}(10)], \\ -1, & \text{при } [SMA_j(5) < SMA_j(10)] \cap [SMA_{j-1}(5) \geq SMA_{j-1}(10)], \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (3)$$

Моменты совершения сделок, которые показывает функция данного алгоритма, проиллюстрированы следующим графиком (рис. 3) (стрелки вверх обозначают моменты совершения сделок покупки, тогда как стрелки вниз — сделок продажи). Белыми и черными «японскими свечами» обозначены движения цены в пределах одного рабочего дня (белая «свеча» — рост цены, черная — падение).

В данном случае существует возможность оптимизации периодов усреднения скользящих средних по критерию максимизации дохода в конечный момент времени. После нахождения оптимального значения параметра и подстановки его в формулу, как правило, конечный результат становится лучше, чем при первоначальном значении варьируемого параметра.

Невозможно с полной уверенностью сказать, какие системы являются наиболее эффективными. Часто достаточно сложная система может оказываться абсолютно неустойчивой к изменению каких-либо из ее параметров, а полная перенастройка формулы может занять много времени. Но также и слишком простые системы могут быть непригодными в быстро меняющейся ситуации на рынке. Компромисса в данном вопросе не существует. Каждый трейдер решает для себя, какой системой ему пользоваться.

Казалось бы, разнообразия выбираемых методик и огромного количества вариантов их комбинирования может быть достаточно для эффективной работы на финансовых рынках, и трейдер может подобрать для себя необходимый метод получения сигналов, по условиям которого он сможет автоматизировать процесс. К сожалению, это не совсем так. Присутствует очень важный фактор, который МТС не могут учесть в достаточной степени. Это — изменчивость рынка. Какую бы универсальную формулу не использовал участник торгов, она всегда имеет конечный срок эффективности. Эту проблему часто пытаются решить методом перенастройки определенных варьируемых параметров, но это не всегда помогает.



**Рис. 3.** Иллюстрация моментов совершения сделок  
(актив — EUR/USD; временной интервал — 30.11.2004–28.06.2005)

Эффективность механических торговых систем постоянно меняется, что в конце концов приводит к высокой волатильности их доходности. В данной ситуации возникает проблема, порожденная постоянно меняющейся эффективностью МТС. Дело в том, что как и динамика цен, поведение и состав участников торгов также динамично меняется в зависимости от воздействия множества различных факторов. И несмотря на то, что периодическая оптимизация значений варьируемых параметров часто может давать положительный результат, непосредственно алгоритм совершения операций остается постоянным, что может негативно отразиться на эффективности торговли в достаточно быстро меняющейся ситуации на финансовом рынке. На рис. 4 изображены графики цен (нижняя часть) и прибыли стандартной механической торговой системы, измеренной в ценовых пунктах (верхняя часть графика) и основанной на скользящих средних значениях.

Опираясь на вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что решение данной проблемы является чрезвычайно важной задачей, стоящей перед трейдерами, которые работают на рынке с использованием МТС. Одним из способов ее решения является создание такой системы, которая объединяла бы некоторое множество МТС, в режиме реального времени оценивала их эффективность, и принимала решение о совершении сделки, отдавая большее предпочтение сигналам одних систем перед другими, адаптируясь к изменяющейся тенденции развития рынка и эффективности работы нескольких систем соответственно.

Такая система является прототипом психологии поведения трейдера при принятии решения о совершении сделки, так как любой торговец прогнозирует рынок, используя не один инструмент. Обычно в арсенале каждого участника торгов имеется несколько основных методов анализа, которые позволяют ему ориентироваться в ситуации на рынке. И каждый трейдер больше доверяет одним инструментам, чем другим (степень доверия какому-либо методу определяется тем, как он себя зарекомендовал ранее). Эта система направлена на решение проблемы запаздывания прогнозов за изменением ситуации на рынке, так как она отдает предпочтение тем МТС, входящим в ее состав, которые более эффективны именно в данный момент торгов. Так как главной идеей в этом случае является адаптация системы к изменяющейся ситуации на рынке, то данная система называется *Адаптивной торговой системой* (АТС). То есть решить проблему изменчивости эффективности МТС можно, создав систему, которая включает в себя несколько специфических алгоритмов совершения сделок и в зависимости от рыночной ситуации отдает предпочтение при принятии решений именно тому методу, который наиболее эффективен в данный момент. Таким образом, менее эффективные системы не фокусируют на себе внимание адаптивной торговой системы. Приведем ее модель.

Пусть алгоритм перераспределения весовых коэффициентов каждой МТС, входящей в рассматриваемую группу, основан на значениях текущего состояния виртуальных счетов этих систем, т. е. на оценке виртуальных позиций. Чем лучше система работала, тем больше ее виртуальная прибыль, и соответственно ее вес в их общем распределении. Таким образом, все сигналы, поступающие от МТС, предварительно взвешиваются с учетом всех совершенных ранее виртуальных сделок и их влияния на эффективность работы системы в целом.

Пусть  $i$  — номер МТС,  $i = [1;n]$ ,

$t_j$  —  $j$ -й момент времени, где  $j = [1;m]$ .

В начальный момент времени  $t_1$  весовые коэффициенты  $w_i$  всех МТС будем считать равными.

$x_i(t_j)$  — значение состояния позиции  $i$ -й МТС в момент времени  $t_j$ ,

$w_i(t_j)$  — весовой коэффициент  $i$ -й МТС в момент времени  $t_j$ .

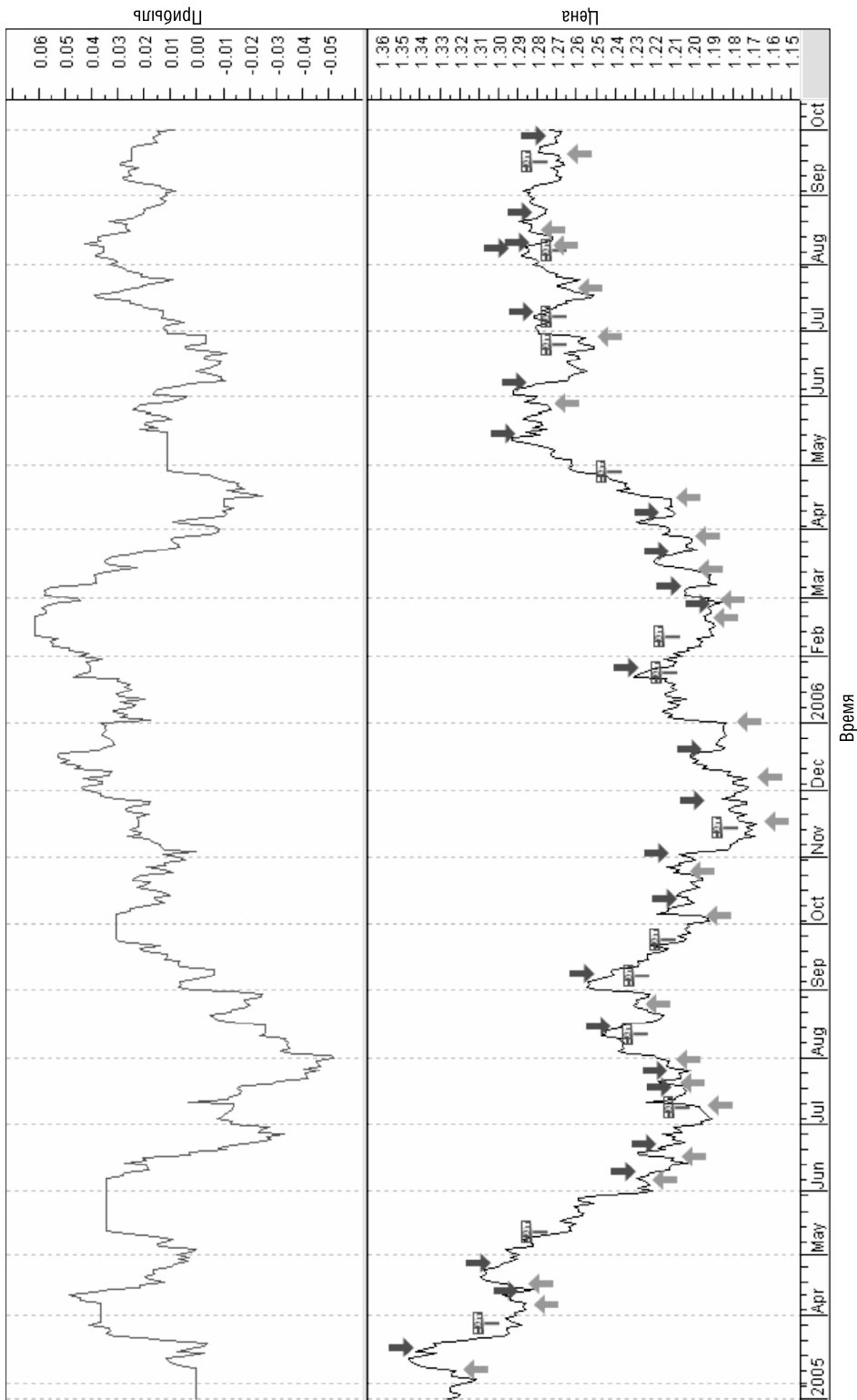


Рис. 4. Иллюстрация изменчивости доходности МТС  
(актив — EUR/USD; временной интервал — 22.02.2005–02.10.2006)



Для описания данной адаптивной модели принятия решений рассмотрим множество  $F$  индикаторов  $f_i(t_j)$ , где  $i = [1;n]$ , которые являются функциями совершения сделок МТС, входящих в состав АТС. Тогда значение состояния позиции  $x_i(t_j)$  будем вычислять следующим образом:

$$x_i(t_j) = \sum_{k=1}^j f_i(t_k), \tag{4}$$

или 
$$x_i(t_j) = f_i(t_j) + x_i(t_{j-1}), \tag{5}$$

где  $x_i(t_1) = 0$ ,

$f_i(t_k)$  — значение функции совершения сделки  $i$ -й МТС в  $k$ -й момент времени.

Long означает, что сделкой, которая открывает данную торговую позицию, является покупка. Закрывает эту позицию сделка продажи. Аналогично и с позицией short: открывающая сделка — продажа, закрывающая — покупка.

Позиция	Открытие позиции	Закрытие позиции
Long	Покупка ( $f = 1$ )	Продажа ( $f = -1$ )
Short	Продажа ( $f = -1$ )	Покупка ( $f = 1$ )

Так как одинаковые сигналы на совершение сделки могут появляться один за другим, возможен выход значений  $x$  за установленные значения:  $-1$ ;  $0$ ;  $1$ . Поэтому на функцию  $f$  необходимо наложить ограничения, которые нивелируют сигналы системы, приводящие к размеру позиции выше (или ниже) допустимого уровня. Установление предельного размера торговой позиции необходимо как по причине ограниченности количества денежных средств в распоряжении трейдера (невозможно совершить две сделки на покупку одного и того же актива, если остатка денежных средств хватает лишь на раз), так и для объективной оценки результативности работы системы (в данном случае трудно было бы раздельно оценить эффективность «входов» и «выходов» — моментов открытия и закрытия торговой позиции, если количество сделок на покупку сильно отличается от количества сделок на продажу). Кроме того, при проведении сравнительного анализа работы нескольких МТС возникает необходимость стандартизации условий работы исследуемых систем. Однако не все повторения сигналов являются избыточными. Исходя из ограничения, наложенного на  $x$ , значения которого не могут быть больше  $1$  и меньше  $-1$ , некоторые повторения сигналов  $f$  допускаются. Например, при последовательном закрытии позиции long и открытии позиции short придется совершить две сделки продажи актива. Аналогично и при переходе из short в long: необходимо совершить две сделки покупки. Таким образом, повторение одного и того же сигнала на совершение сделки допускается только при изменении торговой позиции на противоположную. В данном случае значение  $x$  остается по модулю равным единице, меняется только его знак.

Исходя из вышесказанного, ограничение предельного размера позиции должно включать следующие правила.

- Сделка покупки возможна только, если текущее состояние позиции  $x$ :  $0$  (отсутствие торговых позиций) или  $-1$  (short). В результате  $x$  будет равно  $1$  (long) или  $0$  (отсутствие торговых позиций).

• Сделка продажи возможна только, если текущее состояние позиции  $x$ : 0 (отсутствие торговых позиций) или 1 (long). В результате  $x$  будет равно  $-1$  (short) или 0 (отсутствие торговых позиций).

Для реализации данного ограничения введем функцию  $\tilde{f}$ , которая является *отфильтрованной*  $f$  и имеет вид:

$$\tilde{f}_i(t_j) = \begin{cases} 1, & \text{при } \left( \left( \sum_{k=1}^{j-1} \tilde{f}_i(t_k) = -1 \right) \cup \left( \sum_{k=1}^{j-1} \tilde{f}_i(t_k) = 0 \right) \right) \cap (f_i(t_j) = 1), \\ -1, & \text{при } \left( \left( \sum_{k=1}^{j-1} \tilde{f}_i(t_k) = 0 \right) \cup \left( \sum_{k=1}^{j-1} \tilde{f}_i(t_k) = 1 \right) \right) \cap (f_i(t_j) = -1), \\ 0, & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (6)$$

где  $j = (2, \dots, m)$ ,  
 $\tilde{f}_i(t_1) = f_i(t_1)$ .

Тогда значение состояния позиции при использовании функции  $\tilde{f}$ :

$$\tilde{x}_i(t_j) = \sum_{k=1}^j \tilde{f}_i(t_k). \quad (7)$$

Таким образом,  $\tilde{x}$  может принимать только одно из трех значений: 1,  $-1$ , 0.

Фильтр сделок  $\tilde{f}$  исключает избыточное повторение сигналов на покупку или продажу. Приведем пример действия данного фильтра. На нижеследующем графике (рис. 5) указаны значения цены  $p$  и моментов поступления сигналов на совершение сделок (на графике обозначены стрелками), значения функции совершения сделок  $f$ , состояние позиции  $x$  при использовании данной функции, значения преобразованной функции совершения сделок  $\tilde{f}$  и соответствующее ей состояние позиции  $\tilde{x}$ .

Таким образом, введенное преобразование  $\tilde{f}$  функции  $f$  наиболее полно отвечает требованиям к значениям состояния позиций, и в дальнейших расчетах следует использовать именно данную функцию.

Критерием сравнения эффективности работы механических торговых систем и перераспределения весовых коэффициентов был выбран показатель оценки виртуальной позиции, т. е. совокупный финансовый результат виртуальной работы систем в каждый момент времени  $t$ . Эта функция суммирует все расходы при покупке базового актива и поступления от его продажи. Данную функцию можно представить формулой:

$$q_i(t_j) = -\sum_{k=1}^j p_k \tilde{f}_i(t_k) + p_j \tilde{x}_i(t_j), \quad (8)$$

где  $q_i(t_j)$  — значение оценки позиции  $i$ -й МТС в  $j$ -й момент времени,

$\tilde{f}_i(t_k)$  — значение преобразованной функции совершения сделок  $i$ -й МТС в  $k$ -й момент времени,

$\tilde{x}_i(t_j)$  — значение состояния позиции  $i$ -й МТС в момент времени  $j$ ,

$p_k, p_j$  — цена одной ценной бумаги в моменты времени  $k$  и  $j$  соответственно.

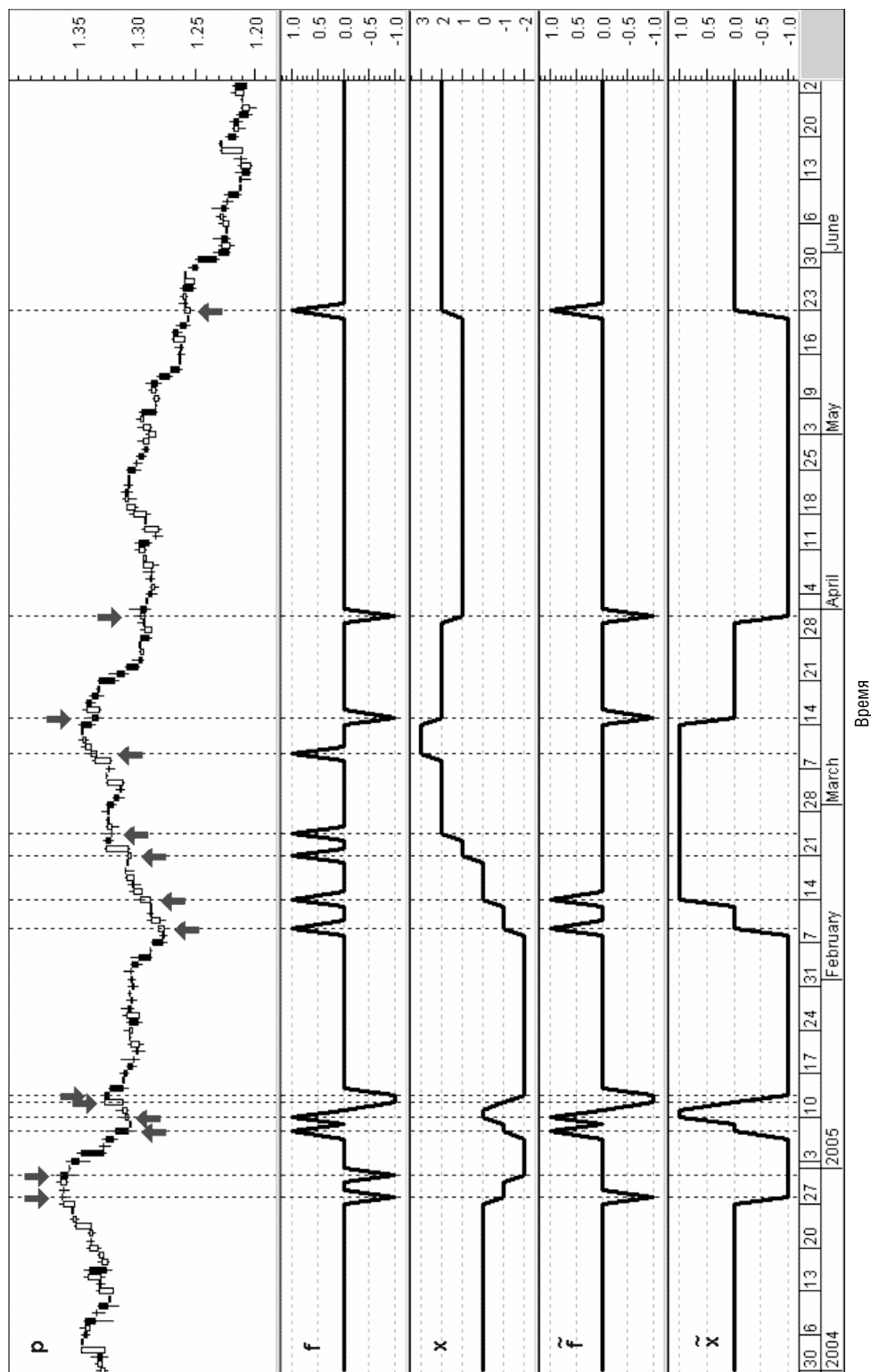


Рис. 5. Иллюстрация основных временных рядов, используемых в адаптивной модели (актив — EUR/USD; временной интервал — 30.11.2004–28.06.2005)

Рассмотрим алгоритм расчета параметров модели адаптивной торговой системы — весовых коэффициентов механических торговых систем, входящих в состав АТС. Как упоминалось ранее, необходимо, чтобы данный алгоритм присваивал больший коэффициент в системе весов адаптивной торговой системы той МТС, эффективность которой на данный момент времени больше. В качестве критерия эффективности используется оценка позиции системы. Это условие можно записать в виде формулы, рассчитывающей центрированную оценку относительно минимальной на текущий момент:

$$w_i(t_j) = \begin{cases} \frac{1}{n} & \text{при } q_{\max}(t_j) = q_{\min}(t_j) \\ \frac{q_i(t_j) - q_{\min}(t_j)}{\sum_{i=1}^n (q_i(t_j) - q_{\min}(t_j))} & \text{при } q_{\max}(t_j) \neq q_{\min}(t_j), \end{cases} \quad (9)$$

где  $w_i(t_j)$  — весовой коэффициент  $i$ -й МТС в  $j$ -й момент времени,

$q_i(t_j)$  — значение оценки позиции  $i$ -й МТС в  $j$ -й момент времени,

$q_{\min}(t_j)$  — минимальное значение из оценок позиций всех МТС, входящих в АТС в  $j$ -й момент времени,

$q_{\max}(t_j)$  — максимальное значение из оценок позиций всех МТС, входящих в АТС в  $j$ -й момент времени.

Из (9) следует, что значения  $w_i(t_j)$  изменяются от 0 до 1.

Суть данного метода расчета весовых коэффициентов заключается в фиксации значений оценки позиции всех МТС в текущий момент времени и нахождении разницы между значением  $q$  каждой системы и минимальным значением  $q$  на тот же момент. После чего полученное значение (центрированная оценка позиции относительно минимальной в текущий момент времени) делится на сумму соответствующих значений всех используемых систем. Данный вид центрирования необходим, так как при сравнении абсолютных значений оценок позиций систем неизбежно возникает проблема, порожденная неоднозначностью в выборе первоначального размера торгового счета.

Далее введем функцию  $u$ , которая показывает оптимальное состояние позиции адаптивной торговой системы, являясь средневзвешенным значением состояний позиций всех МТС. Данная функция имеет вид:

$$u(t_j) = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i(t_j) \cdot w_i(t_j)}{\sum_{i=1}^n w_i(t_j)}. \quad (10)$$

Значения  $u$  изменяются от  $-1$  до  $1$  и могут быть дробными. То есть функция генерирует неоднозначный сигнал о необходимом состоянии позиции трейдера. Например, при  $u=0,5$  невозможно определить состояние позиции на данный момент: long или ее отсутствие. Для решения данной проблемы введем фильтр  $\tilde{u}$  функции  $u$ , который играет роль решающего правила, согласно которому неоднозначные сигналы  $u$  интерпретируются как однозначные  $\tilde{u}$ . Данная функция выглядит следующим образом:

$$\tilde{u}(t_j) = \begin{cases} 1, & \text{при } u(t_j) > \alpha, \\ -1, & \text{при } u(t_j) < -\alpha, \\ 0, & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (11)$$

где  $\alpha$  — параметр чувствительности АТС к отклонениям  $u$  от 0, и может принимать любое значение от 0 до 1.

Значение  $\tilde{u}(t_j) = 1$  предполагает, что необходимым состоянием позиции АТС на момент времени  $t_j$  является позиция на покупку (long);  $\tilde{u}(t_j) = -1$  — позиция на продажу (short);  $\tilde{u}(t_j) = 0$  — отсутствие каких-либо позиций. В случае отличия позиции АТС от значения  $\tilde{u}$ , трейдеру следует действовать по приведению своей позиции в соответствие со значением  $\tilde{u}$ , совершая необходимые сделки. Если в момент времени  $t_j$  позицией трейдера — short, а  $\tilde{u} = 1$ , то участнику торгов необходимо совершить сделку покупки двух лотов базового актива с тем, чтобы следовать указаниям  $\tilde{u}$ .

Таким образом,  $\tilde{u}$  показывает оптимальное состояние позиции в каждый момент времени работы адаптивной торговой системы, основываясь на показаниях работы всех МТС, входящих в ее состав.

Тогда  $f_u(t_j)$  показывает, какие сделки необходимо совершать, чтобы следовать показаниям  $\tilde{u}$  и вычисляется следующим образом:

$$f_u(t_j) = \tilde{u}(t_j) - \tilde{u}(t_{j-1}). \quad (12)$$

Так как  $\tilde{u}$  может принимать значения  $-1, 0$  и  $1$ , то возможна ситуация, при которой  $\tilde{u}(t_{j-1}) = -1$ , а  $\tilde{u}(t_j) = 1$ . Тогда значение  $f_u(t_j)$  будет равно 2. Аналогично и при  $\tilde{u}(t_{j-1}) = 1$ , а  $\tilde{u}(t_j) = -1$ ,  $f_u(t_j) = -2$ . То есть  $f_u(t_j)$  могут принимать не три возможных значения, а пять:  $-2; -1; 0; 1; 2$ . Это допускается, так как ограничение (в виде всего трех возможных значений функции) налагаются только на параметры состояния позиции  $\tilde{x}$  — для МТС и  $\tilde{u}$  — для АТС.

Оценка позиции АТС —  $q_u(t_j; \alpha)$  вычисляется следующим образом:

$$q_u(t_j; \alpha) = -\sum_{k=1}^j p_k f_u(t_k) + p_j \tilde{u}(t_j). \quad (13)$$

Приведем пример расчетов описанных выше функций на произвольном массиве данных по динамике движения цены  $p$  на некоторый актив. На рис. 6 изображен график цены на данный актив и состояния позиций всех МТС, входящих в АТС ( $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3, \tilde{x}_4, \tilde{x}_5$ ).

Как следует из графиков (рис. 6), все МТС являются системами, основанными исключительно на позициях типа long и short. Это сделано намеренно, с целью сравнения работы данных систем с другими и с работой АТС в целом. На рис. 7 представлены динамика изменения цены на данный актив; значения оценок позиций всех МТС, входящих в АТС и значение оценки позиции АТС в целом. Первоначальный депозит принят за 100 000 USD. Оценки позиций систем, отображенные на графике (рис. 7), выражены в долларах США. Начальное значение  $\alpha = 0,2$ .

При данном значении  $\alpha$  оценка позиции АТС в конечный момент времени равна 23 020 USD, т. е.  $q_u(t_{178}) = 23020$ . С целью максимизации прибыли следует найти оптимальное значение параметра  $\alpha$ . Определение оптимальной величины  $\alpha$  представляет собой задачу одномерного поиска с максимизацией  $q_u$  в конечный момент времени  $t_{178}$ .

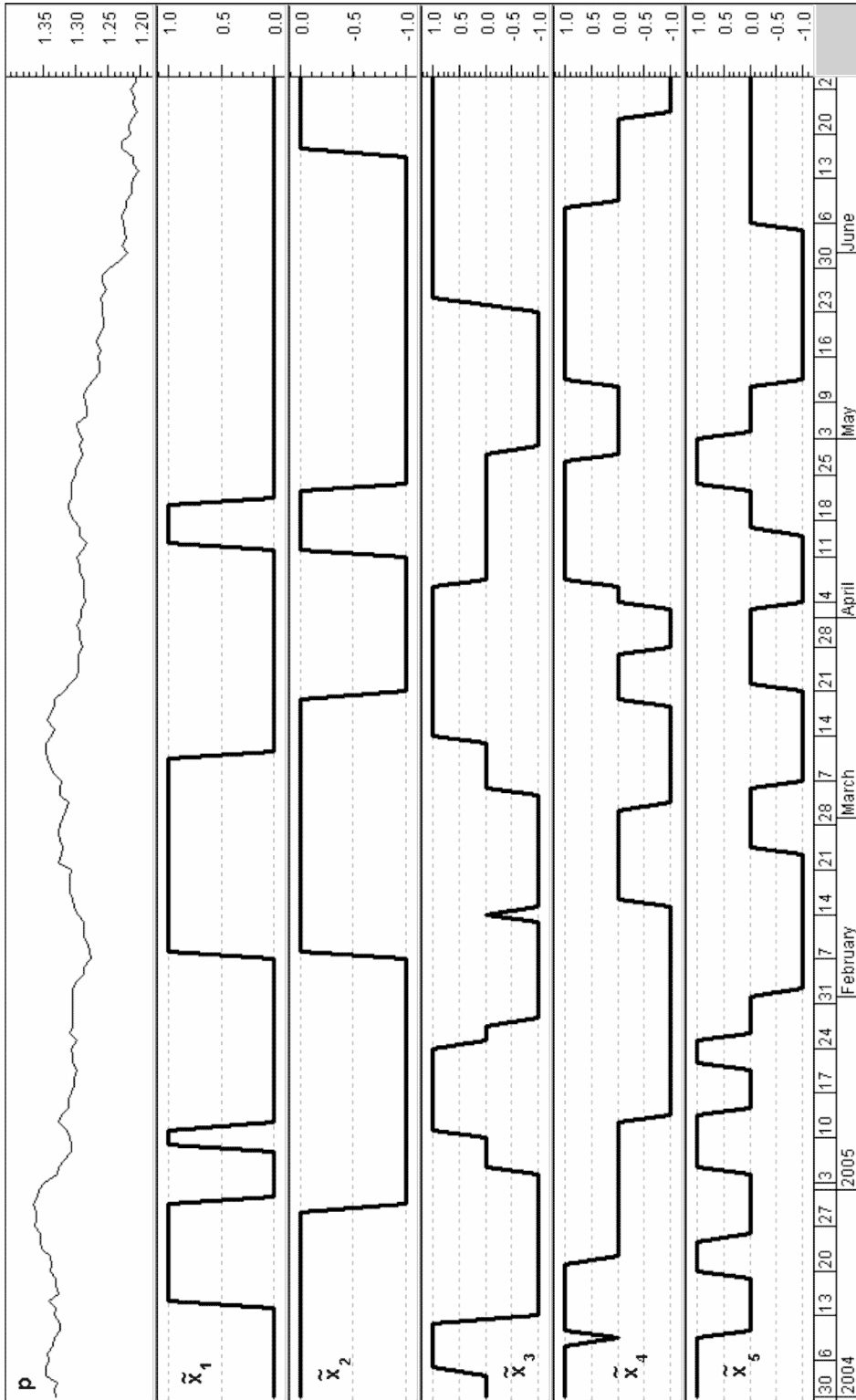
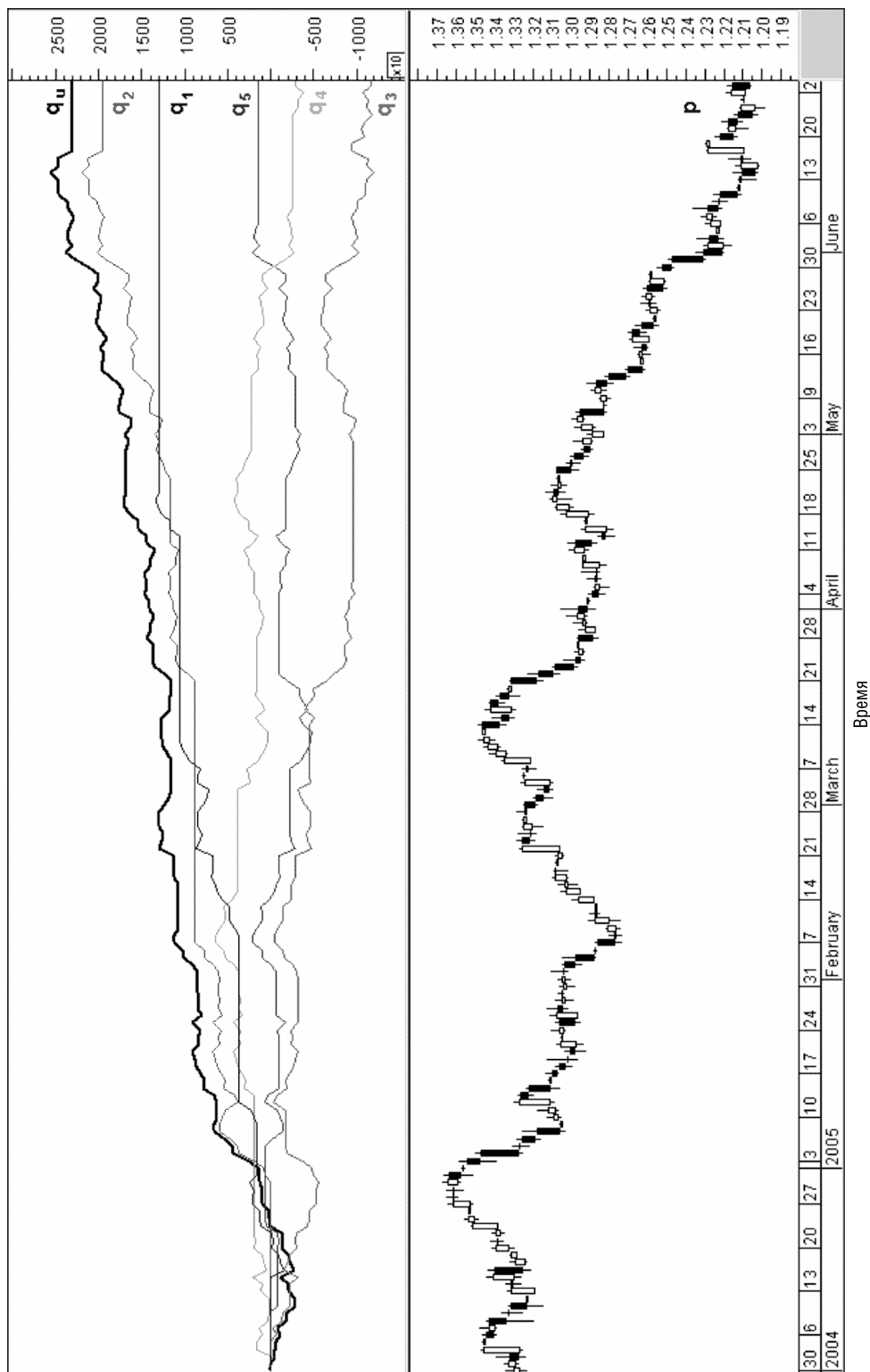


Рис. 6. Динамика изменения состояния позиций, используемых МТС (актив — EUR/USD; временной интервал — 30.11.2004–28.06.2005)



**Рис. 7.** Динамика изменения состояния торговых счетов, используемых МТС при  $\alpha = 0,2$   
(актив — EUR/USD; временной интервал — 30.11.2004–28.06.2005)

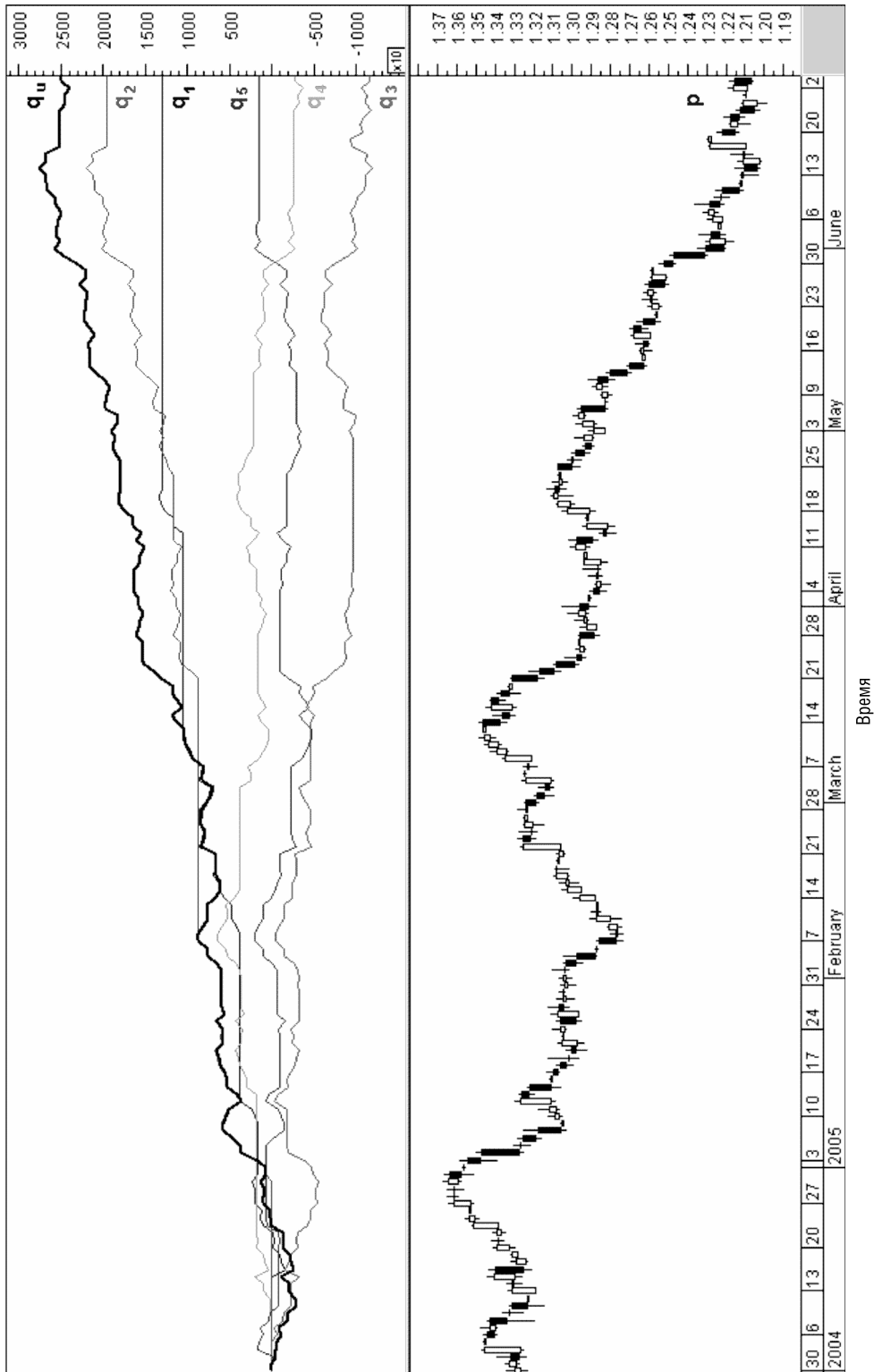


Рис. 8. Динамика изменения состояния торговых счетов, используемых МТС при  $\alpha=0,01$   
(актив — EUR/USD; временной интервал — 30.11.2004–28.06.2005)



В нашем случае оптимальным с точки зрения максимизации оценки позиции в момент времени  $t_{178}$  оказалось значение  $\alpha = 0,01$ , что соответствует  $q_u(t_{178}) = 24910$  (рис. 8).

При работе на финансовых рынках оптимальное значение параметра  $\alpha$  следует периодически пересчитывать, так как оно может меняться в зависимости от динамики движения цены. Это уменьшит эффект отставания показателей системы от динамично развивающегося рынка. Поэтому, прежде чем начать работу, следует выяснить (на исторических данных) оптимальное значение  $\alpha$  для данного актива. В дальнейшем можно использовать адаптивную модель настройки оптимального значения параметра  $\alpha$ .

### **3. Заключение**

Как видно из графика (рис. 8), значение  $q_u$  практически в любой момент времени превосходит оценку позиции любой системы, входящей в АТС. Это свидетельствует о том, что эффективность данного метода обобщения сигналов на совершение сделок нескольких МТС с помощью алгоритмов АТС достаточно высока. Данная система является универсальной, так как вне зависимости от набора механических торговых систем, входящих в данную группу, результирующие значения адаптивной торговой системы складываются из значений наиболее эффективных МТС в каждый момент времени.

Область применения АТС обширна настолько, насколько обширна область МТС. И ее использование возможно при торговле любым активом.

Количество механических торговых систем, входящих в АТС может быть достаточно большим, так как наибольшие весовые коэффициенты будут присваиваться наиболее эффективным МТС, отфильтровывая сигналы менее эффективных.

Следует отметить, что представленная адаптивная модель принятия решений для торговли на финансовых рынках является «надстройкой» над группой МТС, выполняя функцию системы управления приоритетами при принятии решений, в основе которых лежат различные алгоритмы совершения сделок, эффективность которых и влияет на их собственный весовой коэффициент, и в конечном счете — на эффективность работы всей торговой системы. Хотя ядром АТС является алгоритм перераспределения весов между системами в выбранной группе, важную роль играет эффективность работы самих МТС, входящих в данную группу. Описанная модель адаптивной торговой системы является инструментом оптимизации работы трейдера. Данная система помогает решать проблему непостоянности в эффективности работы различных МТС, так как наибольший весовой коэффициент присваивается более эффективной на текущий момент.

### **Список литературы**

Кац Д., Маккормик Д. Энциклопедия торговых стратегий / Пер. с англ. 2-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006.

Найман Э. Малая энциклопедия трейдера. 4-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2004.

Титов С.Ю., Вязьмин С.А. Ценообразование активов на финансовых рынках / Научная сессия МИФИ–2007. Сб. научных трудов в 17 т. Т. 13: «Экономика и управление». М.: МИФИ, 2007.

Титов С.Ю., Вязьмин С.А. Адаптивная торговая система для принятия решений на финансовых рынках / Научная сессия МИФИ–2007. Сб. научных трудов в 17 т. Т. 13: «Экономика и управление». М.: МИФИ, 2007.

Чеботарев Ю. Торговые роботы на Российском фондовом рынке. М.: Омега-Л, 2006.